UM UNIVERSO QUE VEIO DO NADA

LAWRENCE M. KRAUSS

Porque há criação sem Criador

Posfácio por Richard Dawkins

PAZ & TERRA

UM UNIVERSO QUE VEIO DO NADA

LAWRENCE M. KRAUSS

Porque há criação sem Criador

Posfácio por Richard Dawkins

Tradução: Alessandra Cavalli Esteche

Revisão técnica: Gustavo Elia Assad

PAZ & TERRA

Copyright do texto: © 2012, Simon & Schuster
Copyright da tradução: © 2013, Alessandra Cavalli Esteche
Copyright da edição: © 2013, Editora Paz e Terra

Capa: Sergio Liuzzi
Diagramação da versão impressa: Filigrana Design

Direitos de edição da obra em língua portuguesa no Brasil adquiridos pela EDITORA PAZ E TERRA. Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser apropriada e estocada em sistema de banco de dados ou processo similar, em qualquer forma ou meio, seja eletrônico, de fotocópia, gravação etc., sem a permissão do detentor do copirraite.

EDITORA PAZ E TERRA LTDA.
Rua do Triunfo, 177 — Sta. Ifi gênia — São Paulo
http://www.pazeterra.com.br

Texto revisto pelo novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

Seja um leitor preferencial Record.
Cadastre-se e receba informações sobre nossos lançamentos e nossas promoções.

Atendimento e venda direta ao leitor:
mdireto@record.com.br ou (21) 2585-2002

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

K91u Krauss, Lawrence M.
Um universo que veio do nada [recurso eletrônico]: porque há criação sem criador / Lawrence M. Krauss; tradução Alessandra Cavalli Esteche. - 1. ed. - São Paulo: Paz e Terra,

2016.
recurso digital

Tradução de: A universe from nothing : why there is something rather than nothing.
Formato: epub
Requisitos do sistema: adobe digital editions
Modo de acesso: world wide web
Inclui índice
ISBN 978-85-7753-348-0 (recurso eletrônico)

1. Cosmologia. 2. Livros eletrônicos. I. Esteche, Alessandra Cavalli. II. Título.

16-33361 CDD: 523.1
CDU: 524

PARA THOMAS, PATTY, NANCY E ROBIN,
POR ME INSPIRAREM A CRIAR ALGO A PARTIR DO NADA...

NESTE LOCAL, EM 1897,
NADA ACONTECEU.

— PLACA NA PAREDE DA WOODY CREEK TAVERN, WOODY CREEK, COLORADO

Sumário

Prefácio

1 Uma história de mistério cósmica: Inícios

2 Uma história de mistério cósmica: Pesando o Universo

3 Luz do início dos tempos

4 Muito barulho por nada

5 Universo em fuga

6 O almoço grátis no fim do Universo

7 Nosso futuro infeliz

8 Um grande acidente?

9 Nada é alguma coisa

10 O nada é instável

11 Admiráveis mundos novos

Epílogo

Posfácio
Richard Dawkins

Índice remissivo

Prefácio

Sonho ou pesadelo, temos de viver nossa experiência como ela é, e temos de vivê-la acordados. Vivemos em um mundo impregnado pela ciência, tão inteiro quanto real. Não podemos transformá-lo em um jogo apenas escolhendo lados.

Jacob Bronowski

Para ser bem honesto desde o início, devo admitir que não simpatizo com a ideia de que a criação exige um criador, base de todas as religiões do mundo. Todos os dias, belos e extraordinários objetos aparecem de repente, de flocos de neve em uma manhã fria de inverno a vibrantes arco-íris que surgem após uma chuva de fim de tarde no verão. Mas ninguém além do fundamentalista mais ardente sugeriria que todo e cada objeto é criado amorosa, meticulosa e, o mais importante, propositadamente por uma inteligência divina. Na verdade, muitos leigos, assim como cientistas, se deleitam com nossa capacidade de explicar como flocos de neve e arco-íris podem aparecer de forma espontânea com base nas leis simples e elegantes da física.

É claro que alguém pode perguntar, e muitos o fazem, "de onde vêm essas leis da física?" e, mais sugestivamente, "quem criou essas leis?". Mesmo que essas questões possam ser respondidas, o suplicante, então, perguntará "mas de onde veio isso?" ou "quem criou isso?", e assim por diante.

Eventualmente, muitas pessoas sensatas são levadas à necessidade aparente de uma Primeira Causa, como Platão, Tomás de Aquino ou a Igreja Católica Romana moderna poderiam colocar, e, assim, supor a existência de um ser divino: um criador de tudo o que existe e de tudo o que venha a existir, alguém ou algo eterno e onipresente.

No entanto, a declaração de uma Primeira Causa ainda deixa aberta a questão: "Quem criou o criador?" Afinal, qual é a diferença entre argumentar a favor de um criador de existência eterna ou de um Universo de existência eterna sem criador algum?

Essas discussões sempre me fazem lembrar a famosa história do especialista que dá uma palestra sobre as origens do Universo (ora identificado como Bertrand Russell, ora como William James) e é desafiado por uma mulher que acredita que o mundo é sustentado por uma tartaruga gigante, que por sua vez é sustentada por outra tartaruga, e então outras tartarugas "até lá embaixo"! Uma regressão infinita de uma força criativa que gera a si mesma, mesmo uma força imaginada maior que tartarugas, está longe do que quer que tenha dado origem ao Universo. Ainda assim, a metáfora da regressão infinita pode, na verdade, estar mais próxima do processo real pelo qual o Universo veio a existir do que um único criador poderia explicar.

Argumentar que Deus é a origem de tudo pode parecer afastar o problema da regressão infinita, mas aí invoco meu mantra: o Universo é como é, quer gostemos ou não. A existência ou não de um criador independe de nossos desejos. Pode parecer difícil ou sem sentido imaginar um mundo sem Deus ou sem propósito, mas só isso não torna obrigatória a existência de Deus.

Do mesmo modo, talvez não sejamos capazes de compreender infinitos com facilidade (embora a matemática, um produto da nossa inteligência, lide com eles muito bem), mas isso não quer dizer que infinitos não existem. Nosso Universo poderia ser infinito em extensão espacial ou temporal. Ou, como Richard Feynman afirmou certa vez, as leis da física podem ser comparadas a uma cebola de camadas infinitas, com novas leis se tornando operacionais conforme exploramos novas escalas. *Simplesmente não sabemos!*

Por mais de 2 mil anos, a pergunta "Por que existe algo em vez de nada?" tem sido apresentada como um desafio à proposição de que nosso Universo — que contém um vasto complexo de estrelas, galáxias, humanos e sabe-se lá o que mais — pode ter surgido sem projeto, intenção ou objetivo. Embora a questão seja geralmente enquadrada de forma religiosa ou filosófica, ela fala, antes e mais importante, sobre o mundo natural. Então, o espaço mais apropriado para tentar resolvê-la é, antes e mais importante, a ciência.

O objetivo deste livro é simples. Quero mostrar como a ciência moderna, em vários aspectos, pode e *está* abordando o porquê de existir algo em vez de nada. As respostas que temos obtido — de observações experimentais estarrecedoramente belas, assim como de teorias que são a base de grande parte da física moderna — sugerem que algo surgir do nada não é um problema. De fato, algo surgir do nada deve ter sido uma *exigência* para que o Universo viesse a existir. Além disso, os sinais indicam que foi assim que nosso Universo *deve* ter surgido.

Enfatizo a palavra *deve* porque talvez nunca tenhamos informação empírica suficiente para responder corretamente a essa questão. Mas com certeza é significativo, pelo menos para mim, o fato de que um Universo que surgiu do nada é, no mínimo, plausível.

Antes de continuar, quero dedicar algumas palavras à noção de "nada" — um tópico em que me aprofundarei mais adiante. Aprendi que, ao discutir esse ponto em fóruns públicos, nada chateia mais os filósofos e teólogos que discordam de mim do que a ideia de que eu, como cientista, não entendo o "nada". (Sou tentado a replicar aqui que teólogos são especialistas em nada.)

O "nada", eles insistem, não é nenhuma das coisas que eu discuto. Nada é "não ser", em um sentido vago e maldefinido. Isso lembra meus próprios esforços em definir "*design* inteligente" quando comecei a debater com criacionistas: ficou evidente não haver definição clara, exceto dizer o que ele não é. O "*design* inteligente" é simplesmente um guarda-chuva unificador para fazer oposição à evolução. Do mesmo modo, alguns filósofos e muitos teólogos definem e redefinem o "nada" como nenhuma das versões que cientistas descrevem atualmente.

Mas aí, na minha opinião, reside a falência intelectual de grande parte da teologia e de alguma parte da filosofia moderna. Claramente, o "nada" é tão físico quanto o "algo", principalmente se for definido como a "ausência de algo". Então, cabe a nós entender exatamente a natureza física de ambos. E, sem a ciência, qualquer definição são apenas palavras.

Há aproximadamente um século, se alguém descrevesse o "nada" referindo-se puramente ao espaço vazio, sem entidade material real, não teria contra-argumentação. No entanto, os resultados dos últimos cem anos nos ensinaram que o espaço vazio, na verdade, está longe do nada inviolável que

pressupusemos antes de saber mais sobre como a natureza funciona. Agora, críticos religiosos me dizem que não posso me referir ao espaço vazio como o "nada", mas sim como um "vácuo quântico", para distingui-lo do "nada" idealizado por filósofos ou teólogos.

Que seja. Mas e se quisermos descrever o "nada" como a própria ausência de espaço e tempo? É suficiente? Mais uma vez, acho que teria sido... um dia. Por outro lado, conforme devo explicar mais adiante, aprendemos que o espaço e o tempo podem aparecer de forma espontânea, e agora nos dizem que mesmo esse "nada" não é exatamente o que importa. E dizem que a fuga do "nada" real exige divindade, assim sendo definido que "apenas Deus pode criar algo".

Muitas pessoas com quem debati a questão também sugeriram que, se existe um "potencial" para criar alguma coisa, então não há um estado de "nada" verdadeiro. E, claro, o fato de haver leis na natureza que forneçam tal potencial nos distancia do verdadeiro reino do não ser. Mas se eu argumento que talvez as próprias leis também surgiram espontaneamente, como descreverei que deve ser o caso, isso também não é bom o bastante, porque qualquer sistema do qual as leis possam ter surgido não corresponde ao nada verdadeiro.

Tartarugas até lá embaixo? Acho que não. Mas a teoria das tartarugas é atraente porque a ciência está mudando o campo de atuação de forma a deixar as pessoas desconfortáveis. É claro, esse é um dos propósitos da ciência (alguém poderia ter dito "filosofia natural" em tempos mais socráticos). O desconforto significa que estamos no limiar de novas percepções. Obviamente, invocar "Deus" para evitar perguntas difíceis começando por "como" é apenas preguiça intelectual. Afinal, se não houvesse potencial de criação, Deus não poderia ter criado nada. Seria um abracadabra semântico tentar afirmar que a regressão infinita é evitada porque Deus é extrínseco à natureza e, portanto, o "potencial" para a existência em si não é parte do nada do qual a existência surgiu.

Meu real objetivo aqui é demonstrar que, de fato, a ciência *vem* mudando o campo de atuação, fazendo com que esses debates abstratos e inúteis sobre a natureza do nada fossem substituídos por esforços operacionais e úteis em

descrever como nosso Universo pode realmente ter surgido. Também explicarei as possíveis implicações disso em nosso presente e futuro.

Isso reflete um fato muito importante. No que diz respeito a entender como nosso Universo evolui, a religião e a teologia têm sido, no mínimo, irrelevantes. Elas costumam distorcer, concentrando-se nas questões sobre o nada, por exemplo, sem fornecer uma definição baseada em evidências empíricas. Embora ainda não compreendamos o Universo completamente, não há razão para esperar que as coisas mudem a esse respeito. Aliás, espero que um dia isso também se aplique à compreensão de áreas que a religião hoje considera seu território, como a moralidade humana.

A ciência tem sido eficaz em promover nossa compreensão da natureza porque o *ethos* científico é baseado em três princípios básicos: (1) siga a evidência aonde quer que ela o leve; (2) se alguém tem uma teoria, precisa provar que ela está tão errada quanto certa; (3) o árbitro supremo da verdade é o experimento, e não o conforto que se tira de suas crenças *a priori*, nem a beleza ou a elegância que se atribui aos próprios modelos teóricos.

Os resultados dos experimentos que descreverei aqui não são apenas oportunos, mas também inesperados. A tapeçaria que a ciência tece ao descrever a evolução do Universo é muito mais rica e fascinante do que quaisquer imagens reveladoras ou histórias criativas que os humanos inventaram. A natureza surpreende mais do que a imaginação humana pode esperar.

Nas últimas duas décadas, uma série de acontecimentos empolgantes na cosmologia, na teoria de partículas e na gravitação mudou completamente o modo de ver o Universo, com implicações profundas e surpreendentes para a compreensão tanto de suas origens quanto de seu futuro. *Nada* poderia, então, ser mais interessante de se escrever sobre, perdoe a brincadeira.

A verdadeira inspiração para este livro não vem nem do desejo de acabar com mitos nem de atacar crenças, mas sim de comemorar o conhecimento, e, junto com ele, o Universo absolutamente surpreendente e fascinante no qual o nosso se transformou.

Nossa busca nos levará a um *tour* para os confins de nosso Universo em expansão — dos primeiros momentos do Big Bang até o futuro distante — e incluirá talvez a descoberta mais surpreendente na física no último século.

Na verdade, a motivação para escrever este livro agora surgiu da descoberta que impulsionou minha própria pesquisa científica durante grande parte dos últimos trinta anos: a conclusão impressionante de que a maior parte da energia do Universo reside numa misteriosa e hoje inexplicável forma que permeia todo o espaço vazio. Não é um exagero dizer que essa descoberta mudou o campo de atuação da cosmologia moderna.

Essa descoberta produziu uma nova sustentação para a ideia de que o Universo surgiu do nada. Também provocou uma reavaliação das suposições sobre os processos que podem conduzir a própria evolução, além de incitar a questão de as próprias leis da natureza serem mesmo fundamentais ou não. Cada uma dessas suposições agora tende a fazer com que a discussão quanto ao porquê de haver algo em vez de nada pareça menos obrigatória, se não completamente superficial, como devo descrever.

A gênese direta deste livro remonta a outubro de 2009, quando ministrei uma palestra em Los Angeles com o mesmo título. Para minha surpresa, o vídeo da palestra no YouTube, disponibilizado pela Fundação Richard Dawkins, tornou-se uma espécie de sensação, com quase 1 milhão de acessos até hoje e inúmeras cópias de partes da palestra sendo usadas em debates de comunidades ateístas e teístas.

Devido ao grande interesse nesse assunto, e também como resultado de alguns comentários confusos na internet e em várias mídias após minha palestra, pensei que valeria a pena produzir uma versão mais completa que expressei lá. Aqui também posso aproveitar a oportunidade para acrescentar mais comentários aos argumentos apresentados na época, que se concentravam quase completamente nas revoluções da cosmologia que transformaram a imagem que temos do Universo, associadas à descoberta da energia e da geometria espacial. Discuto tudo isso nos primeiros dois terços deste livro.

No meio-tempo, pensei muito mais sobre os muitos antecedentes e ideias que constituem meu argumento; discuti o assunto com outras pessoas, que reagiram com tanto entusiasmo que foi contagiante; e explorei mais o impacto do desenvolvimento da física de partículas, em especial na questão da origem e da natureza do Universo. E, finalmente, expus alguns argumentos para aqueles

que discordam veementemente de mim, e, ao fazê-lo, alguns *insights* me ajudaram a aprofundar meu raciocínio.

Enquanto elaborava as ideias que tentei descrever aqui, tive o benefício de discutir com alguns de meus colegas físicos mais brilhantes. Quero agradecer especialmente a Alan Guth e Frank Wilczek por me deixarem tomar seu tempo com discussões e correspondências extensas, resolvendo algumas confusões da minha cabeça e, em alguns casos, ajudando a reforçar minhas próprias interpretações.

Encorajado pelo interesse de Leslie Meredith e Dominick Anfuso, do movimento Free Press e da editora Simon & Schuster, na possibilidade de um livro sobre o assunto, entrei em contato, então, com meu amigo Christopher Hitchens, que, além de ser um dos indivíduos mais brilhantes que eu conheço, também usou alguns dos argumentos da minha palestra em sua notável série de debates sobre ciência e religião. Christopher, apesar de sua saúde fragilizada, concordou generosa, gentil e corajosamente em fazê-lo. Por esse ato de amizade e confiança, serei eternamente grato. Infelizmente, a doença o venceu, de forma que ficou impossível para ele terminar de escrevê-lo, apesar de seus esforços. Christopher faleceu tragicamente um pouco antes do lançamento deste livro nos Estados Unidos. Eu sinto sua falta, e o mundo ficou mais vazio sem ele. Então, como se isso não bastasse, meu eloquente e brilhante amigo, o renomado cientista e escritor Richard Dawkins, concordou em escrever um posfácio. Depois que meu primeiro esboço foi concluído, ele começou a escrever, em curto período de tempo, algo cuja beleza e clareza eram surpreendentes e, ao mesmo tempo, humilhantes. Para Christopher e Richard, então, além de todos os que mencionei anteriormente, meus agradecimentos por seu apoio e incentivo e por me motivarem a, mais uma vez, voltar ao computador e escrever.

1

Uma história de mistério cósmica: Inícios

O Mistério Inicial que acompanha qualquer jornada é:
como o viajante chegou ao ponto de partida, para começo de conversa?

Louise Bogan, *Journey Around My Room*

Era uma noite escura e tempestuosa.

No início de 1916, Albert Einstein havia acabado de completar o maior trabalho de sua vida, uma intensa luta intelectual, que durou uma década, para obter uma nova teoria da gravitação, chamada teoria da Relatividade Geral. Entretanto, não era apenas mais uma nova teoria da gravitação; era uma nova teoria do espaço e do tempo também. E foi a primeira teoria científica que explicou não apenas como os objetos se movem através do espaço, mas também como o próprio Universo pode se desenvolver.

Havia apenas um percalço. Quando Einstein começou a aplicar sua teoria para descrever o Universo como um todo, ficou claro que ela não descrevia o Universo em que vivíamos.

Agora, quase cem anos depois, é difícil compreender quanto a noção que temos do Universo mudou no período de uma única vida humana. Para a comunidade científica de 1917, o Universo era estático e contínuo, e consistia em uma única galáxia, a Via Láctea, rodeada por um espaço vasto, infinito, escuro e vazio. Isso descreve o que você veria ao olhar para o céu, a olho nu ou com um pequeno telescópio, e na época havia poucos motivos para suspeitar do contrário.

Na teoria de Einstein, como na teoria da gravitação de Newton antes dela, a gravidade é puramente a força atrativa entre todos os objetos. Isso significa ser impossível haver um conjunto de massas no espaço em repouso eterno. Sua atração gravitacional mútua causaria um colapso, o que entra em desacordo com a ideia de um Universo aparentemente estático.

O fato de a teoria da Relatividade Geral de Einstein não parecer consistente com a imagem que se tinha do Universo na época foi, para ele, um golpe maior do que você poderia imaginar, por razões que me permitem descartar um mito que sempre me incomodou sobre Einstein e sua teoria. O senso comum afirma que Einstein trabalhou isolado em um quarto fechado durante anos, usando apenas o pensamento e a razão, e apareceu com sua bela teoria que fugia da realidade (talvez como aqueles que defendem a teoria das Cordas nos dias de hoje!). No entanto, nada poderia estar mais distante da verdade.

Einstein sempre foi profundamente guiado por experimentos e observações. Embora tenha realizado muitos "experimentos mentais" e trabalhado arduamente por uma década, ele aprendeu matemática moderna e seguiu muitas pistas teóricas falsas no processo antes de, finalmente, produzir uma teoria que de fato fosse matematicamente bela. O momento mais importante no estabelecimento de seu caso amoroso com a relatividade, no entanto, teve a ver com a observação. Durante as últimas agitadas semanas em que estava concluindo sua teoria — e competindo com o matemático alemão David Hilbert —, Einstein usou suas equações para calcular a previsão para o que de outro modo poderia parecer um resultado astrofísico obscuro: uma ligeira precessão no "periélio", o ponto mais próximo da órbita de Mercúrio ao redor do Sol.

Os astrônomos há muito já tinham percebido que a órbita de Mercúrio fugia um pouco da prevista por Newton. Em vez de percorrer uma elipse perfeita, a órbita de Mercúrio sofria uma precessão — ou seja, o planeta não retorna precisamente ao mesmo ponto ao fim de uma trajetória, mas a orientação da elipse muda ligeiramente a cada órbita, traçando, assim, um padrão de espiral — em uma quantidade incrivelmente pequena: 43 arco-segundos (cerca de 1/100 de grau) a cada século.

Quando Einstein realizou o cálculo da órbita usando a teoria da Relatividade Geral, chegou ao número certo. Como descrito por um de seus

biógrafos, Abraham Pais: "Essa descoberta foi, acredito, de longe, a experiência emocional mais forte da vida científica de Einstein, talvez de toda a sua vida." O físico afirmava ter palpitações, como se "algo tivesse disparado" dentro dele. Um mês depois, quando descreveu a teoria para um amigo como de "beleza incomparável", seu prazer com a forma matemática havia se manifestado, mas nenhuma palpitação fora relatada.

No entanto, a aparente discordância entre a teoria da relatividade e a observação não durou muito tempo — embora tenha obrigado Einstein a introduzir uma modificação que mais tarde chamaria de seu maior tropeço. Falaremos sobre isso mais adiante. Todo mundo (exceto alguns conselhos escolares nos Estados Unidos), hoje, sabe que o Universo não é imutável, mas está em expansão, e que essa expansão começou com um Big Bang incrivelmente quente e denso há estimados 13,7 bilhões de anos. Igualmente importante, hoje sabemos que a Via Láctea é apenas uma de talvez 400 bilhões de galáxias no Universo observável. Somos como os primeiros cartógrafos terrestres começando a compreender o Universo em suas mais largas escalas. Não é de surpreender que as décadas recentes tenham testemunhado mudanças revolucionárias na imagem que temos dele.

A descoberta de que o Universo está em expansão tem profundo significado filosófico e religioso, pois sugere que ele teve um início. Um início implica criação, e a criação desperta emoções. Embora muitos anos tenham se passado entre a descoberta do Universo em expansão, em 1929, e o validamento empírico do Big Bang, o papa Pio XII o anunciou, em 1951, como evidência do Gênesis. Ele proclamou:

> Parece que a ciência atual, com uma varredura através dos séculos, obteve êxito em ser testemunha do instante majestoso do *Fiat lux* [Faça-se a luz] primordial, quando juntamente com a matéria surgiu do nada um mar de luz e radiação, e os elementos se dividiram e se agitaram e formaram milhões de galáxias. Assim, com essa concretude característica das provas físicas, [a ciência] confirmou a possibilidade do Universo e também a dedução bem-fundamentada quanto à época em que o mundo surgiu nas mãos do Criador. Consequentemente, a Criação aconteceu. Dizemos: "Então, existe um Criador. Então, Deus existe."

A história completa, na verdade, é um pouco mais interessante. A primeira pessoa a propor o Big Bang foi um padre e físico belga chamado Georges

Lemaître. Ele era uma combinação impressionante de competências. Começou seus estudos como engenheiro, foi artilheiro condecorado na Primeira Guerra Mundial, e então migrou para a matemática enquanto estudava para o sacerdócio no início dos anos 1920. Depois mudou para a cosmologia e estudou com o famoso astrofísico britânico Sir Arthur Stanley Eddington, indo posteriormente para Harvard e, em seguida, para o MIT, onde obteve seu segundo doutorado em física.

Em 1927, antes de obter o segundo doutorado, Lemaître resolveu as equações de Einstein da teoria da Relatividade Geral e demonstrou que ela prevê um Universo não imutável e que, de fato, sugere que o Universo em que vivemos está em expansão. A ideia parecia tão chocante que o próprio Einstein a contestou com a declaração: "Sua matemática está correta, mas sua física é abominável."

Ainda assim, Lemaître seguiu adiante e, em 1930, propôs que o Universo em expansão na verdade teve início como um ponto infinitesimal, que ele chamou de "Átomo Primordial", e que esse início representava, talvez numa alusão ao Gênesis, um "Dia sem Ontem".

Assim, o Big Bang, que o papa Pio XII tanto anunciou, foi proposto pela primeira vez por um padre. Poderíamos pensar que Lemaître teria ficado emocionado com essa validação papal, mas ele já descartara em sua cabeça a ideia de que a teoria científica teria consequências teológicas e removera um parágrafo do esboço de seu trabalho de 1931 sobre o Big Bang que comentava essa questão.

De fato, Lemaître mais tarde expressou sua objeção ao anúncio do papa sobre o Big Bang provar o texto do Gênesis, feito em 1951 (até porque percebeu que, caso sua teoria se provasse incorreta, as afirmações católicas romanas quanto ao Gênesis poderiam ser contestadas). Nessa época, Lemaître já havia sido eleito para a Pontifícia Academia do Vaticano, tornando-se mais tarde seu presidente. Ele disse: "Até onde sei, essa teoria permanece completamente alheia a qualquer questão metafísica ou religiosa." O papa nunca mais abordou o assunto em público.

Existe uma lição valiosa aqui. Como Lemaître reconheceu, o fato de o Big Bang ter acontecido ou não é uma questão científica, não teológica. Além disso, mesmo que tenha acontecido (o que todas as evidências hoje confirmam

de maneira contundente), ele pode ser interpretado de diferentes maneiras, de acordo com predileções religiosas ou metafísicas. Pode-se ver o Big Bang como o próprio Criador ou, ao contrário, argumentar que a matemática da relatividade explica a evolução do Universo desde seu início, sem a intervenção de qualquer divindade. Mas uma especulação metafísica como essa é independente da validação física do Big Bang e irrelevante para nossa compreensão. É claro, conforme nos aprofundamos sobre a mera existência de um Universo em expansão para entender os princípios físicos que podem abordar sua origem, a ciência pode lançar luz a essa especulação, e, devo argumentar, ela o faz.

De qualquer forma, nem Lemaître nem o papa Pio XII convenceram o mundo científico de que o Universo estava em expansão. Em vez disso, como em toda boa ciência, a evidência veio por meio de observações cuidadosas, nesse caso feitas por Edwin Hubble, que faz com que eu tenha fé na humanidade, pois começou como advogado e acabou se tornando astrônomo.

Hubble fizera uma descoberta significativa em 1925 com o novo telescópio Mt. Wilson 100" Hooker, naquela época o maior do mundo. (Para efeito de comparação, hoje construímos telescópios mais de dez vezes maiores do que esse em diâmetro e cem vezes maiores em área!) Até então, com os telescópios disponíveis, os astrônomos foram capazes de discernir imagens distorcidas de objetos que não eram simples estrelas na galáxia. Eles os chamaram de nebulosas, "coisa indistinta" em latim (para ser mais exato, "nuvem"). Também debateram se esses objetos estavam em nossa galáxia ou fora dela.

Como a visão predominante na época era a de que nossa galáxia era tudo o que existia, a maioria dos astrônomos seguiu a visão do "em nossa galáxia", liderados pelo famoso astrônomo Harlow Shapley, em Harvard. Shapley havia largado a escola no sexto ano e estudado por conta própria, chegando, mais tarde, a ir para Princeton. Decidiu se dedicar à astronomia depois de ter escolhido o primeiro assunto que achou no programa de estudos. Em um trabalho influente, demonstrou que a Via Láctea era muito maior do que se pensava e também que o Sol não estava no centro, mas num canto remoto e desinteressante da galáxia. Ele foi uma força formidável na astronomia e, assim, suas ideias a respeito da natureza das nebulosas tiveram considerável importância.

No primeiro dia de 1925, Hubble publicou os resultados de dois anos de estudo a respeito das chamadas nebulosas espirais, em que identificou um tipo de estrela variável, chamada Cefeida, incluindo a hoje conhecida como Andrômeda.

Observadas pela primeira vez em 1784, as estrelas variáveis Cefeidas têm um brilho que varia no decorrer de um período regular. Em 1908, uma candidata a astrônoma menosprezada, Henrietta Swan Leavitt, foi contratada como "computadora" no Observatório da Universidade Harvard ("computadoras" eram mulheres que catalogavam o brilho das estrelas gravado nas placas fotográficas do observatório; na época, não era permitido que mulheres usassem os telescópios). Filha de um pastor congregacional e descendente de peregrinos, Leavitt fez uma descoberta surpreendente, que aprofundou em 1912: percebeu que existia uma relação estável entre o brilho das estrelas Cefeidas e o período de sua variação. Assim, caso se determinasse a distância em relação a uma única Cefeida de período conhecido (determinados na sequência, em 1913), então medir o brilho de outras Cefeidas do mesmo período permitiria que se determinasse a distância até essas outras estrelas.

Como o brilho diminui inversamente com o quadrado da distância até a estrela (a luz se espalha uniformemente a partir de uma esfera cuja área aumenta com o quadrado da distância e, assim como a luz se espalha sobre uma esfera maior, a intensidade da luz observada em qualquer ponto diminui inversamente com a área da esfera), determinar a distância de estrelas mais longínquas sempre foi o grande desafio da astronomia. A descoberta de Henrietta foi uma revolução (o próprio Hubble, ignorado pelo Nobel, dizia com frequência que o trabalho de Leavitt o merecia, embora talvez tenha sugerido isso porque seria um concorrente natural a dividir o prêmio com ela por seu trabalho subsequente). A Academia Real da Suécia já considerava indicar Leavitt para o Nobel em 1924, quando descobriram que ela havia morrido de câncer três anos antes. À custa de sua personalidade forte, seu talento para a autopromoção e suas habilidades como observador, Hubble viria a se tornar um nome famoso, enquanto Leavitt, infelizmente, é conhecida apenas por aficionados da área.

Hubble conseguiu usar suas medições das Cefeidas e a relação período-luminosidade de Leavitt para provar definitivamente que as Cefeidas em Andrômeda, e muitas outras nebulosas, estavam muito distantes para estarem dentro da Via Láctea. Descobriu-se que Andrômeda é outro "Universo-ilha", outra galáxia em espiral quase idêntica à nossa e uma dos mais de 100 bilhões de outras galáxias que, como sabemos hoje, existem em nosso Universo observável. O resultado de Hubble foi inequívoco o suficiente para que a comunidade astronômica — incluindo Shapley, que àquela época ocupava a direção do Observatório de Harvard, onde Leavitt realizara seu trabalho inovador — logo aceitasse o fato de a Via Láctea não ser tudo o que existia ao nosso redor. De repente, o tamanho do Universo conhecido se expandira em um único salto mais do que poderia ter se expandido em séculos. Suas características mudaram também, assim como quase todo o restante.

Após essa descoberta dramática, Hubble poderia ter descansado sobre seus louros, mas ele queria um peixe maior, ou melhor, galáxias maiores. Ao medir Cefeidas ainda mais fracas, em galáxias ainda mais distantes, ele conseguiu mapear o Universo em escalas maiores do que nunca. Quando fez isso, descobriu algo muito mais impressionante: o Universo estava em expansão!

Hubble chegou a esse resultado ao comparar as distâncias das galáxias que calculava com um conjunto diferente de medições de outro astrônomo norte-americano, Vesto Slipher, que medira os espectros de luz que vinham dessas galáxias. A compreensão da existência e da natureza desses espectros exige um retorno ao início da astronomia moderna.

Uma das descobertas mais importantes da astronomia foi que a matéria das estrelas e a matéria da Terra são em grande parte a mesma. Tudo começou, como muitas coisas na ciência moderna, com Isaac Newton. Em 1665, Newton, então um jovem cientista, ao escurecer seu quarto completamente, deixando apenas uma fresta na persiana, fez com que um fino raio de luz solar passasse por um prisma, e viu que a luz se dispersava nas cores conhecidas do arco-íris. Newton concluiu que a luz branca do Sol continha todas essas cores, e estava certo.

Cento e cinquenta anos depois, outro cientista examinou a luz dispersa com mais cuidado e descobriu faixas escuras em meio às cores. Deduziu que

essas faixas se deviam à existência de materiais na atmosfera mais externa do Sol que absorviam a luz de certas cores ou comprimentos de onda específicos. Essas "linhas de absorção", como ficaram conhecidas, poderiam ser identificadas através dos comprimentos de onda absorvidos por elementos conhecidos na Terra, como o hidrogênio, o oxigênio, o ferro, o sódio e o cálcio.

Em 1868, outro cientista observou duas novas linhas de absorção na parte amarela do espectro solar que não correspondiam a qualquer elemento conhecido na Terra. Ele concluiu que isso devia acontecer devido a um novo elemento, denominado hélio. Uma geração depois, o hélio foi descoberto na Terra.

O espectro de radiação que vem de outras estrelas é uma ferramenta científica importante para entender a composição, a temperatura e a evolução delas. Em 1912, Vesto Slipher observou os espectros de luz que vinham de várias nebulosas espirais e descobriu que eram similares aos das estrelas próximas — exceto que todas as linhas de absorção eram deslocadas pela mesma quantidade em comprimento de onda.

Esse fenômeno foi entendido na época como a consequência do "efeito Doppler", assim chamado em homenagem ao físico austríaco Christian Doppler, que explicou, em 1842, que ondas dispersadas de uma fonte em movimento serão estendidas se esta estiver se afastando e comprimidas se estiver se aproximando. É a manifestação de um fenômeno muito famoso e que sempre me faz lembrar um cartum de Sidney Harris em que dois caubóis estão montados em seus cavalos olhando os trens distantes, e um deles diz para o outro: "Adoro ouvir o lamento solitário do apito do trem conforme a magnitude das mudanças de frequência devido ao efeito Doppler!" De fato, o apito do trem ou a sirene da ambulância parecem mais altos se os veículos estiverem se aproximando e mais baixos se estiverem se afastando.

O mesmo fenômeno acontece com ondas de luz e de som, embora por razões um pouco diferentes. As ondas de luz de uma fonte que se afasta, seja por seu movimento no espaço, seja pela expansão interferente do espaço, serão esticadas e, assim, parecerão mais vermelhas do que se não houvesse esse afastamento, já que o vermelho tem o maior comprimento de onda do

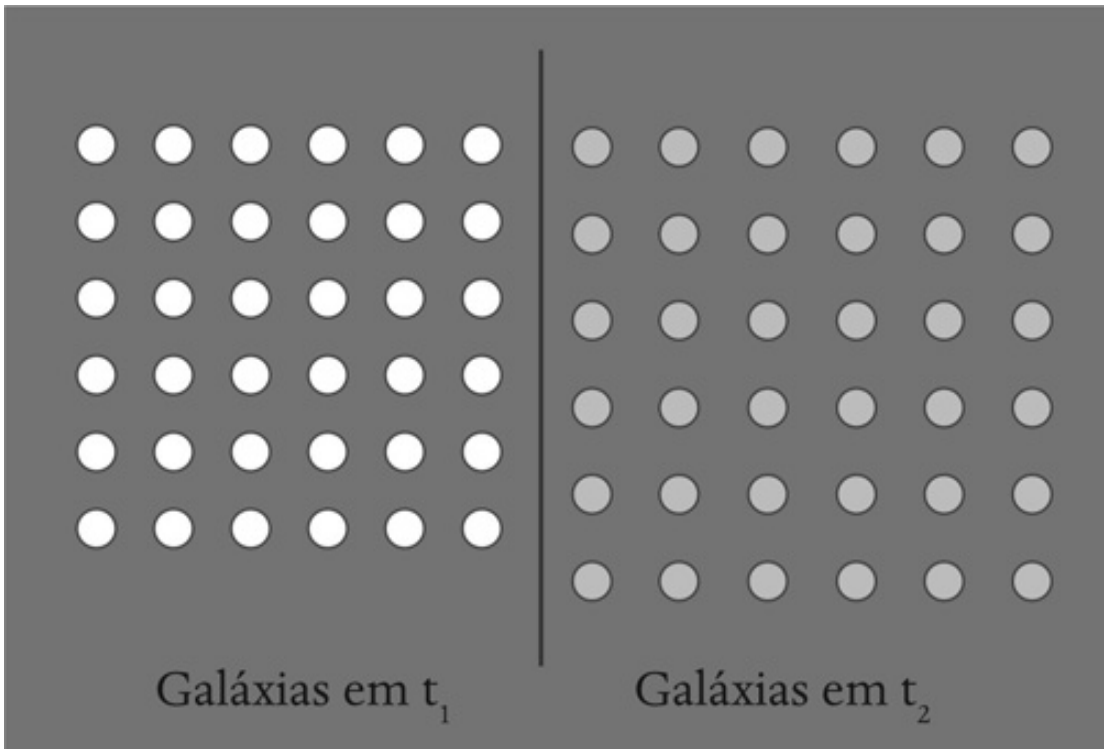
espectro visível. Por outro lado, as ondas de uma fonte que se aproxima serão comprimidas e parecerão mais azuis.

Slipher observou, em 1912, que as linhas de absorção da luz vinda de todas as nebulosas em espiral eram quase todas deslocadas sistematicamente para comprimentos de onda maiores (embora algumas, como Andrômeda, fossem deslocadas para comprimentos de onda menores). Ele deduziu corretamente que a maioria desses corpos, então, estava se afastando com velocidades consideráveis.

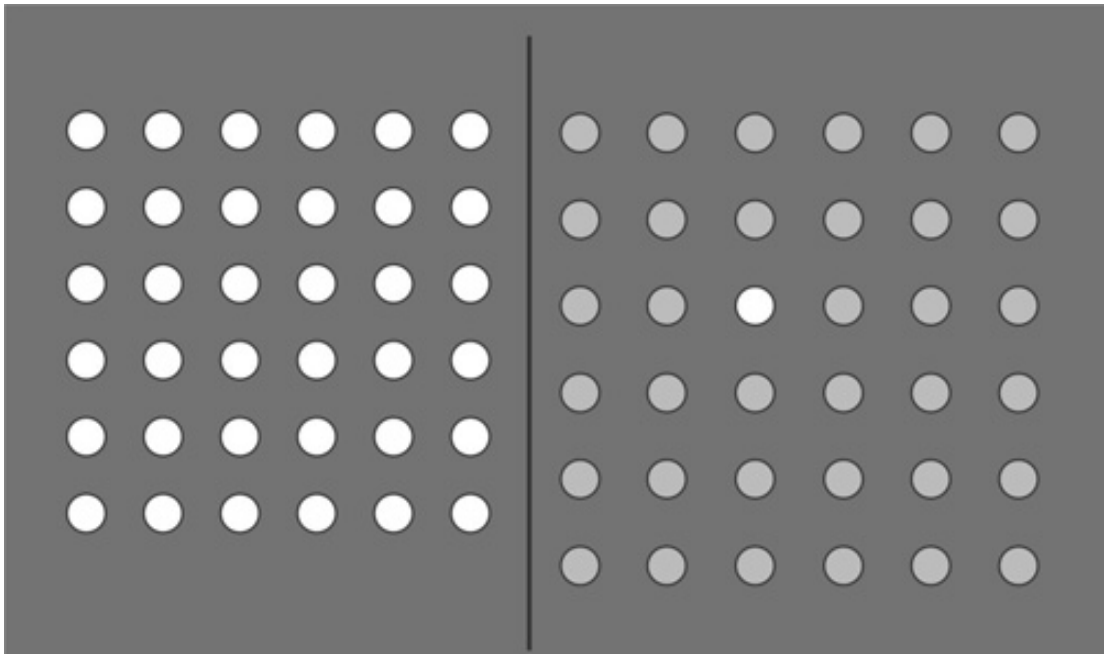
Hubble conseguiu comparar as observações da distância dessas galáxias em espiral (como eram conhecidas na época) com as medições de Slipher das velocidades de afastamento. Em 1929, com a ajuda de Milton Humason, membro da equipe do Monte Wilson (seu talento técnico era tanto que havia lhe assegurado um emprego no Monte Wilson sem nem ter um diploma escolar), ele anunciou a descoberta de uma relação empírica impressionante, a hoje chamada Lei de Hubble: existe uma relação linear entre a velocidade de recessão e a distância da galáxia. Ou seja, as galáxias que estão cada vez mais distantes se afastam de nós com velocidades cada vez maiores.

Quando nos deparamos pela primeira vez com esse fato — que quase todas as galáxias estão se afastando de nós, e que aquelas que estão duas vezes mais longe se afastam duas vezes mais rápido, as que estão três vezes mais longe se afastam três vezes mais rápido, e assim sucessivamente —, parece óbvio o que isso implica: *somos o centro do Universo!*

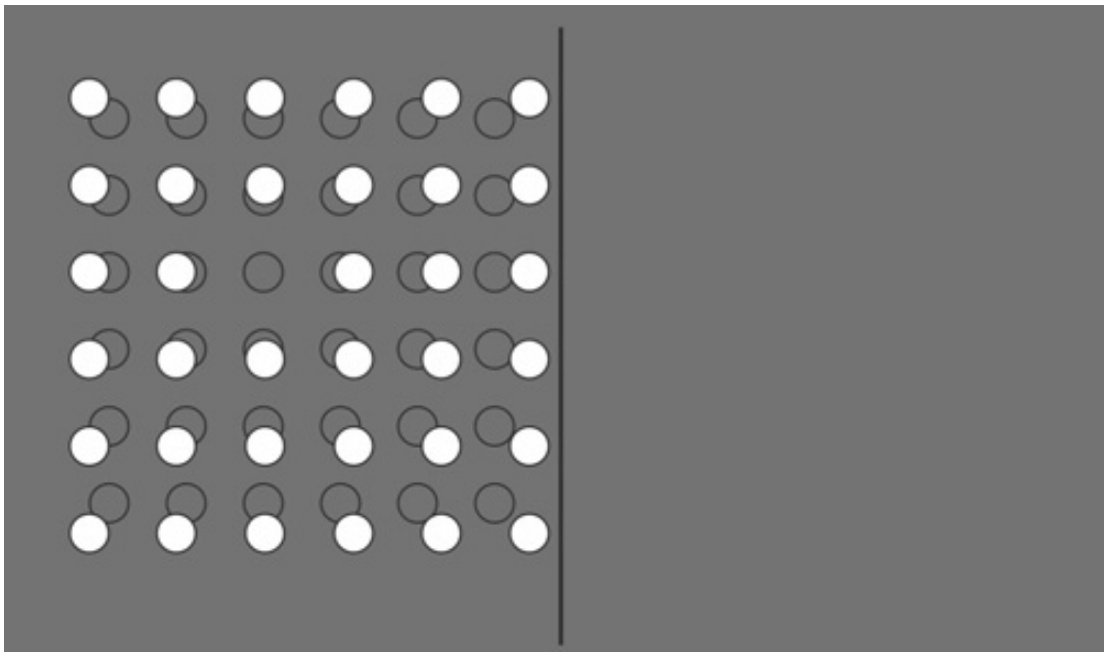
Como alguns amigos sugerem, preciso ser lembrado todos os dias de que *não se trata disso*. A relação que Lemaître previra tem consistência. O Universo está de fato em expansão. Tentei explicar isso de diversas maneiras e não acho que seja fácil fazê-lo, a não ser que se pense fora da caixa — nesse caso, fora da caixa universal. Para entender as implicações da Lei de Hubble, é preciso deixar de lado o ponto de vista míope de nossa galáxia e olhar para o Universo de fora. Embora seja difícil ficar do lado de fora de um Universo tridimensional, é fácil ficar fora de um bidimensional. Desenhei a seguir um Universo em expansão em dois momentos diferentes. Como se pode ver, as galáxias estão mais distantes no segundo momento.



Agora imagine que você vive numa das galáxias do momento t_2, que marcarei em branco.

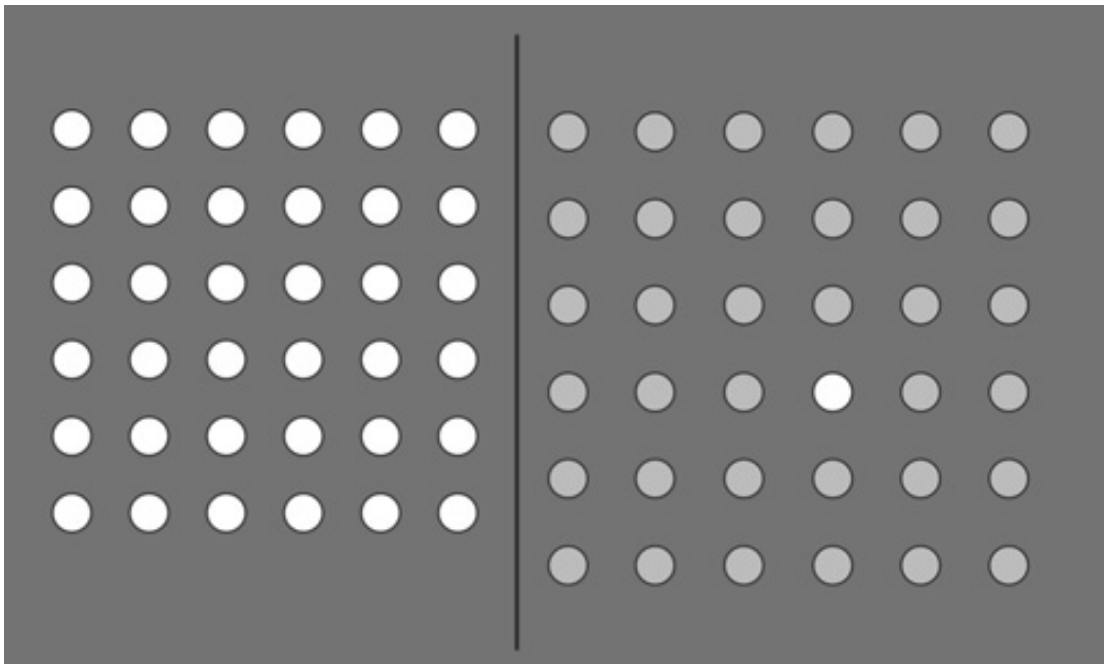


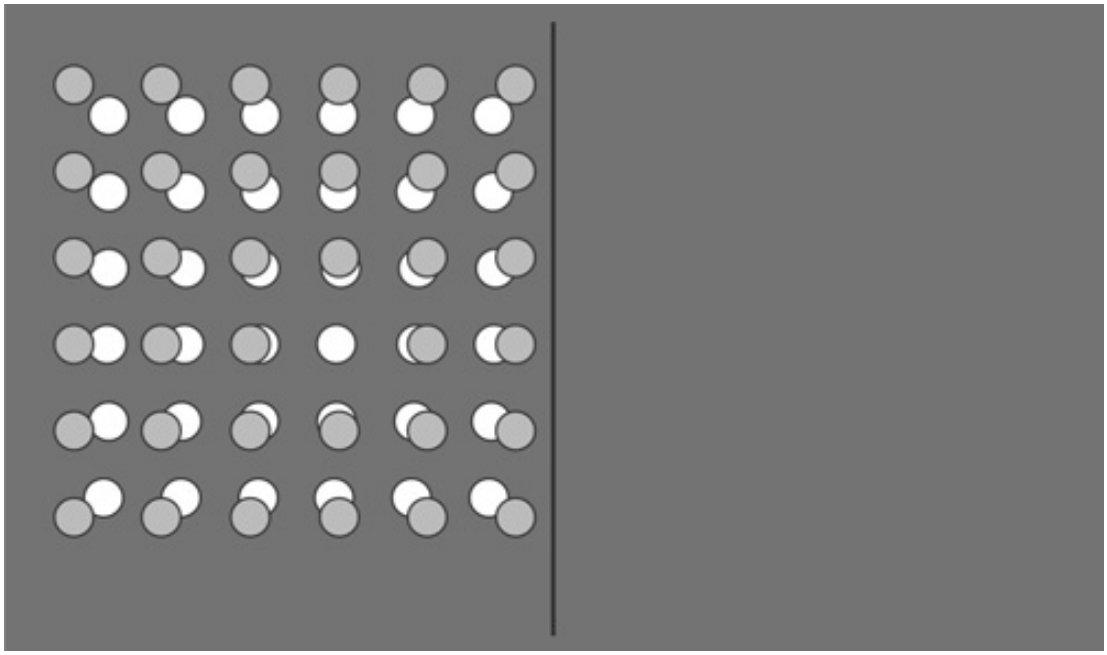
Para ver como a evolução pareceria do ponto de vista dessa galáxia, simplesmente sobreponho a imagem da direita à da esquerda, colocando a galáxia em branco sobre si mesma.



Voilà! Do ponto de vista dessa galáxia, todas as outras estão se afastando, e as que estão duas vezes mais longe se afastaram o dobro da distância no mesmo tempo, as que estão três vezes mais longe se afastaram o triplo da distância, e assim sucessivamente. Contanto que não haja bordas, aqueles que estão na galáxia sentem como se estivessem no centro da expansão.

Não importa qual seja a galáxia escolhida. Escolha outra galáxia e repita o processo:

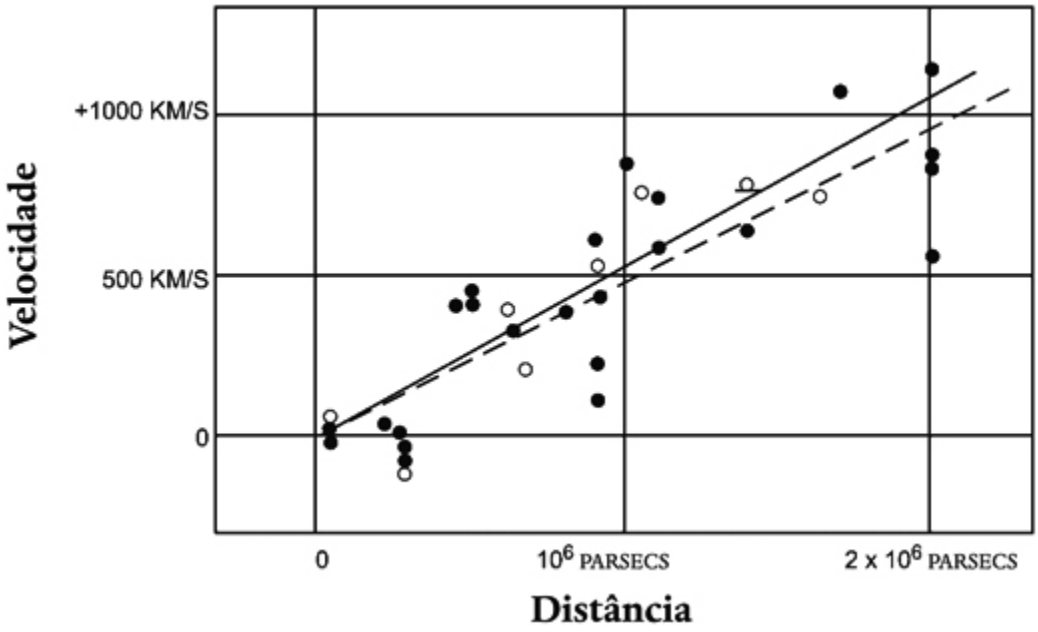




Dependendo da perspectiva, ou *todos os lugares* são o centro do Universo, ou *nenhum lugar* é. Não importa, a Lei de Hubble tem fundamento baseando-se num Universo em expansão.

Agora, quando Hubble e Humason publicaram essa análise pela primeira vez, em 1929, não só expuseram uma relação linear entre distância e

velocidade de recessão, como também deram uma estimativa quantitativa da própria taxa de expansão. Aqui estão os dados apresentados na época:



Como você pode ver, a ideia de Hubble de colocar uma linha reta nesse conjunto de dados parece um pouco aleatória (há uma relação clara, mas o fato de uma linha reta ser ou não a melhor opção não fica nem um pouco claro baseando-se somente nesses dados). O número para a taxa de expansão que eles obtiveram, derivado do gráfico, sugeria que uma galáxia com 1 milhão de parsecs (3 milhões de anos-luz) — a distância média entre as galáxias — estava se afastando com uma velocidade de 500km/s. Essa estimativa não foi aleatória, no entanto.

A razão para isso é relativamente simples de se perceber. Se tudo está se afastando hoje, então em tempos remotos tudo estava mais próximo. Agora, se a gravidade é uma força de atração, então ela deveria retardar a expansão do Universo. Ou seja, a galáxia que se afasta a uma velocidade de 500km/s hoje se movia mais rápido antigamente.

Se, por ora, supomos que a galáxia sempre se moveu com essa velocidade, podemos trabalhar de trás para frente e descobrir há quanto tempo ela esteve na mesma posição em que a nossa está. Como as galáxias duas vezes mais afastadas se movem duas vezes mais rápido, se trabalharmos de trás para

frente, descobriremos que elas estavam sobrepostas à nossa posição exatamente ao mesmo tempo. De fato, todo o Universo observável estaria sobreposto em um único ponto, o Big Bang, nesse tempo estimado.

Tal estimativa é claramente um limite máximo da idade do Universo, já que, se as galáxias um dia estavam se movimentando mais rápido, elas chegariam onde estão hoje em menos tempo do que a estimativa sugere.

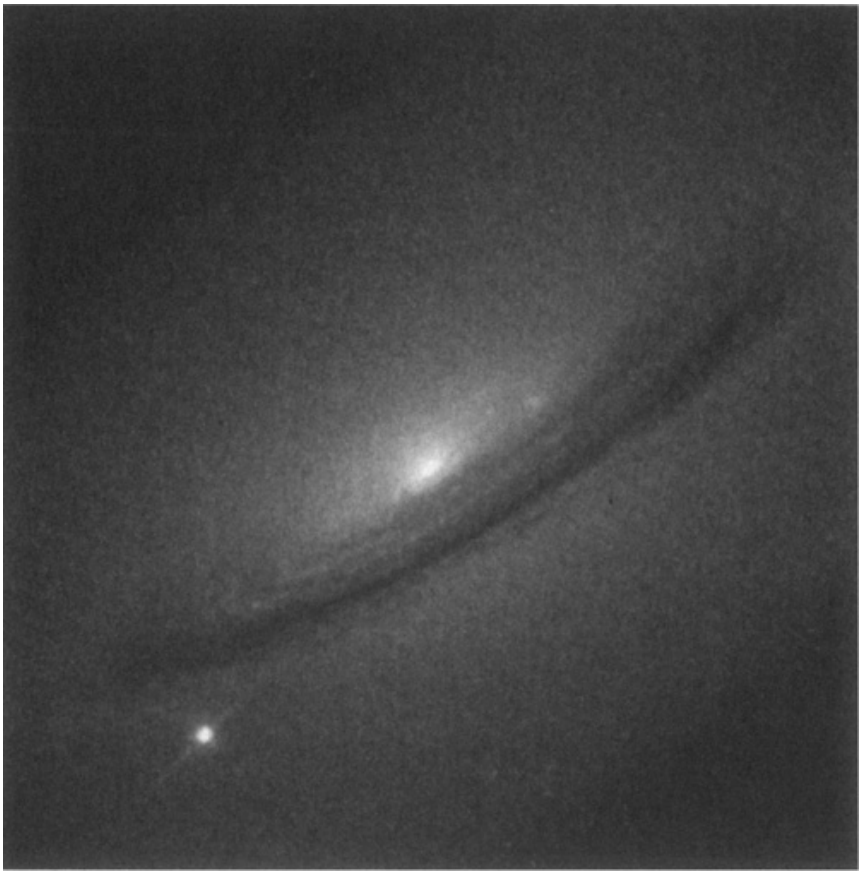
Segundo a estimativa baseada na análise de Hubble, o Big Bang aconteceu há aproximadamente 1,5 bilhão de anos. Mesmo em 1929, no entanto, já havia evidências claras (exceto para alguns literalistas bíblicos do Tennessee, Ohio e de alguns outros estados) de que a Terra tinha mais de 3 bilhões de anos.

Agora, é vergonhoso para os cientistas descobrir que a Terra é mais antiga que o Universo. Mais do que isso, mostra que há algo de errado com a análise.

A fonte dessa confusão foi o fato de que as estimativas de distância de Hubble, obtidas por meio das relações das Cefeidas em nossa galáxia, estavam sistematicamente incorretas. Utilizar a progressão de distância baseada nas Cefeidas próximas para estimar a distância de Cefeidas longínquas, e então estimar a distância de galáxias nas quais as Cefeidas ainda mais distantes eram observadas, foi um método falho.

A história de como esses efeitos sistemáticos foram superados é muito longa e complicada para descrever aqui. De qualquer forma, não importa mais, porque agora temos um estimador de distância muito melhor.

Uma das minhas fotos preferidas do Telescópio Espacial Hubble é esta:



Ela mostra uma linda galáxia espiral muito distante, há muito tempo (há muito tempo porque a luz que vem da galáxia demora mais de 50 milhões de anos para nos alcançar). Uma galáxia espiral como essa, que lembra a nossa, contém cerca de 100 bilhões de estrelas. O ponto brilhante em seu centro talvez contenha 10 bilhões. Preste atenção à estrela no canto inferior esquerdo que emite um brilho quase igual ao desses 10 bilhões de estrelas. À primeira vista, pode-se concluir que essa é uma estrela que está muito mais próxima em nossa própria galáxia e que atrapalhou a foto. Mas, na verdade, é uma estrela daquela mesma galáxia em espiral, a mais de 50 milhões de anos-luz de distância.

Obviamente, não é uma estrela comum. É uma estrela que acabou de explodir, uma supernova, um dos fogos de artifício mais brilhantes do Universo. Quando uma estrela explode, ela emana brevemente (durante mais ou menos um mês) uma luz visível com o brilho de 10 bilhões de estrelas.

Felizmente para nós, estrelas não explodem com tanta frequência — mais ou menos uma vez a cada cem anos por galáxia. Mas temos sorte por elas explodirem, pois não estaríamos aqui se isso não acontecesse. Um dos fatos mais poéticos que conheço sobre o Universo é que, essencialmente, cada átomo do nosso corpo esteve um dia dentro de uma estrela que explodiu. Além disso, os átomos de sua mão esquerda provavelmente vieram de uma estrela diferente da dos átomos de sua mão direita. Somos todos, literalmente, filhos das estrelas, e nosso corpo é feito de poeira de estrelas.

Como sabemos disso? Bem, podemos extrapolar nossa imagem do Big Bang voltando à época em que o Universo tinha quase um segundo de vida e calcular que toda a matéria observável estava comprimida em um plasma denso cuja temperatura deveria ser de mais ou menos 10 bilhões de graus (escala Kelvin).* A essa temperatura, reações nucleares podem acontecer com facilidade entre prótons e nêutrons conforme eles se associam e se separam devido a outras colisões. De acordo com esse processo, enquanto o Universo resfria, podemos prever a frequência com que as partículas elementares formarão, associadas, um núcleo de átomos mais pesado que o hidrogênio (por exemplo, o hélio, o lítio, e assim por diante).

Assim, descobrimos que, essencialmente, nenhum núcleo — além do lítio, o terceiro núcleo mais leve da natureza — formou-se durante a bola de fogo que foi o Big Bang. Sabemos que os cálculos estão corretos porque as previsões da abundância cósmica dos elementos mais leves estão de acordo com essas observações. Os elementos mais leves, como o hidrogênio, o deutério (o núcleo do hidrogênio pesado), o hélio e o lítio, variam em dez níveis (aproximadamente 25% dos prótons e nêutrons, por massa, viram hélio, enquanto um em cada 10 bilhões de nêutrons e prótons acaba em um núcleo de lítio). Sobre essa variação incrível, as observações e as previsões teóricas convergem.

Essa é uma das mais famosas, significativas e bem-sucedidas previsões que provam que o Big Bang realmente aconteceu. *Somente uma grande explosão quente pode produzir a abundância de elementos leves e justificar a expansão do Universo observada hoje*. Carrego um cartão no bolso de trás que mostra a comparação entre as previsões da abundância de elementos leves e a abundância observada, para que, sempre que alguém disser não acreditar que

o Big Bang aconteceu, eu possa mostrá-lo. Quase nunca chego tão longe na discussão, é claro, porque os dados raramente impressionam as pessoas que decidiram de antemão ver algo de errado com essa imagem. Continuo, mesmo assim, carregando o cartão comigo e o reproduzirei mais adiante.

Enquanto o lítio é importante para algumas pessoas, mais importante ainda são os núcleos mais pesados, como o carbono, o nitrogênio, o oxigênio, o ferro, e assim por diante. Esses elementos *não* passaram a existir com o Big Bang. O único lugar em que podem ser gerados é no núcleo ardente das estrelas. E a única maneira de estar em seu corpo, hoje, seria por meio da explosão dessas estrelas, que espalhariam seus produtos pelo cosmos para um dia poder se aglutinar em volta de um pequeno planeta azul localizado perto da estrela que chamamos de Sol. Ao longo da história de nossa galáxia, explodiram cerca de 200 milhões de estrelas. Elas se sacrificaram, por assim dizer, para que um dia você pudesse nascer. Imagino que isso as qualifique, mais do que qualquer outra coisa, para o papel de salvadoras.

Acontece que estudos feitos durante os anos 1990 demonstraram que um certo tipo de estrela explosiva, chamada de supernova tipo 1a, tem uma propriedade impressionante: com alta precisão, ela, que é intrinsecamente mais brilhante, também brilha por mais tempo. A correlação, embora não tão comprovada na teoria, é empiricamente muito acertada. Isso significa que essas supernovas são "velas padrão" muito boas. Com isso queremos dizer que elas podem ser usadas para calibrar distâncias, porque seu brilho pode ser determinado por uma medida que independe de sua distância. Observando uma supernova em uma galáxia distante — e isso é possível porque elas brilham muito —, ao calcular a duração de seu brilho, podemos deduzir seu brilho intrínseco. Assim, ao medir seu brilho aparente com os telescópios, podemos concluir com precisão a que distância estão a supernova e sua galáxia hospedeira. Portanto, medindo o "desvio para o vermelho" da luz vinda das estrelas da galáxia, podemos determinar sua velocidade e assim comparar velocidade e distância e deduzir a taxa de expansão do Universo.

Até aí tudo bem, mas, se as supernovas só explodem uma vez a cada cem anos por galáxia, será que um dia veremos uma? Afinal, a última supernova testemunhada na Terra foi vista por Johannes Kepler em 1604! De fato, dizem

que as supernovas em nossa galáxia só são observadas durante a vida dos maiores astrônomos, e Kepler certamente é um deles.

Inicialmente um humilde professor de matemática na Áustria, Kepler se tornou assistente do astrônomo Tycho Brahe (que também observou uma supernova em nossa galáxia e ganhou uma ilha do rei da Dinamarca em troca). Usando os dados de Brahe a respeito das posições dos planetas no céu, feitas durante mais de uma década, Kepler definiu suas famosas três leis do movimento planetário no início do século XVII:

1. Os planetas se movem ao redor do Sol em elipses.
2. Uma *linha* que liga um planeta ao Sol varre *áreas* iguais em intervalos de tempo iguais.
3. O *quadrado* do *período de translação* de um planeta é diretamente *proporcional* ao *cubo* (3ª potência) do *semieixo maior* de sua órbita (ou, em outras palavras, do "semieixo maior" da elipse, metade da distância que atravessa a parte mais larga da elipse).

Essas leis, por sua vez, foram a base da derivação da lei da gravitação universal de Newton, quase um século depois. Além dessa contribuição impressionante, Kepler defendeu com sucesso sua mãe em um julgamento de bruxaria e escreveu o que talvez tenha sido a primeira história de ficção científica, sobre uma jornada à Lua.

Nos dias de hoje, uma maneira de ver uma supernova é simplesmente designar a cada estudante de pós-graduação uma galáxia diferente. Afinal, um período de cem anos não é tão diferente, no sentido cósmico, pelo menos, do tempo médio de um doutorado, e estudantes de pós-graduação são baratos e abundantes. Felizmente, no entanto, não precisamos recorrer a medidas tão extremas, por uma razão muito simples: o Universo é grande e velho e, como resultado, acontecimentos raros acontecem o tempo todo.

Saia uma noite para um passeio na floresta ou no deserto, onde possa ver estrelas, e levante a mão para o céu, fazendo um pequeno círculo com o polegar e o indicador, mais ou menos do tamanho de uma moeda de dez centavos. Leve o pequeno círculo em direção a uma mancha escura do céu em

que não haja estrelas visíveis. Nessa mancha escura, com um telescópio grande do tipo que usamos hoje, seria possível distinguir talvez 100 mil galáxias, cada uma contendo bilhões de estrelas. Como supernovas explodem uma vez a cada cem anos, com 100 mil galáxias à vista, pode-se esperar ver, em média, cerca de três estrelas explodirem em uma noite.

Os astrônomos fazem exatamente isso. Ficam horas ao telescópio e, em algumas noites, podem ver uma estrela explodir, duas em outras noites, e não conseguirão ver nenhuma em noites nubladas. Dessa forma, vários grupos foram capazes de determinar a constante de Hubble com margem de erro inferior a 10%. O novo número — cerca de 70km/s para galáxias, em média, 3 milhões de anos-luz distantes — é quase um fator de 10 menor que o deduzido por Hubble e Humason. Como resultado, deduzimos uma idade de aproximadamente 13 bilhões de anos para o Universo, e não 1,5 bilhão de anos.

Como descreverei mais adiante, isso também está em total acordo com estimativas independentes da idade das estrelas mais antigas de nossa galáxia. De Brahe a Kepler, de Lemaître a Einstein e Hubble, e do espectro de estrelas à abundância dos elementos leves, quatrocentos anos de ciência moderna produziram uma imagem consistente e impressionante do Universo em expansão. Tudo faz sentido. O Big Bang está em boa forma.

Nota

* O Kelvin não deve ser precedido pela palavra "grau(s)" ou pelo símbolo designativo, abolidos em 1967 pela CGPM (Conferência Geral de Pesos e Medidas), por ser uma unidade de medição. Optamos, contudo, por manter a redação do autor. (N.E.)

2

Uma história de mistério cósmica: Pesando o Universo

Há conhecimentos conhecidos. São coisas que sabemos que sabemos. Há desconhecimentos conhecidos. Ou seja, coisas que sabemos que não sabemos. Mas também há desconhecimentos desconhecidos. São as coisas que não sabemos que não sabemos.

Donald Rumsfeld

Tendo estabelecido que o Universo teve um início e que esse início deu-se em um tempo finito e mensurável do passado, a próxima pergunta natural a se fazer é: "Como ele terminará?"

De fato, foi essa a questão que me fez sair da área de física de partículas e entrar na cosmologia. Durante os anos 1970 e 1980, ficou cada vez mais claro — por medições detalhadas do movimento das estrelas e dos gases em nossa galáxia, assim como do movimento das galáxias em grandes grupos chamados aglomerados — que há muito mais no Universo do que veem os olhos ou se apercebe o telescópio.

A gravidade é a força principal que opera na enorme escala de galáxias, então medir o movimento de objetos nessa escala nos permite sondar a atração gravitacional que impele esse movimento. Tais medições começaram com o trabalho pioneiro da astrônoma americana Vera Rubin e seus colegas nos anos 1970. Rubin concluiu o doutorado na Universidade de Georgetown após frequentar aulas noturnas enquanto seu marido esperava no carro porque ela não sabia dirigir. Tentou entrar em Princeton, mas a universidade não aceitava mulheres no programa de pós-graduação em astronomia até o

ano de 1975. Rubin simplesmente se tornou a segunda mulher a receber a Medalha de Ouro da Sociedade Astronômica Real. Esse prêmio e suas muitas outras honras resultaram de suas medições inovadoras da rotação de nossa galáxia. Ao observar estrelas e gases quentes que se distanciavam cada vez mais do centro de nossa galáxia, Rubin determinou que a velocidade de rotação dessas regiões era muito maior do que outros haviam previsto. Com seu trabalho, cosmólogos perceberam que a única maneira de explicar esse movimento seria postular a existência de muito mais massa em nossa galáxia do que se poderia contar adicionando a massa de *todas* essas estrelas e todo esse ar quente.

Havia um problema, no entanto, com essa conclusão. Os mesmos cálculos que explicam tão bem a abundância dos elementos leves (hidrogênio, hélio e lítio) também nos dizem aproximadamente quantos prótons e nêutrons, a composição da matéria comum, devem existir no Universo. Isso porque, como em qualquer receita culinária — nesse caso, culinária nuclear —, a quantidade do produto final depende da quantidade de cada ingrediente que colocamos no início. Se dobramos a receita — quatro ovos em vez de dois, por exemplo — temos mais do produto final, nesse caso uma omelete. Mas a densidade inicial de prótons e nêutrons que vieram do Big Bang, como determinado pela abundância de hidrogênio, hélio e lítio, corresponde a mais ou menos o dobro da quantidade de matéria que vemos nas estrelas e nos gases quentes. Onde estão essas partículas?

É fácil imaginar maneiras de esconder prótons e nêutrons (bolas de neve, planetas, cosmólogos... nenhum deles brilha); muitos físicos previram que existem prótons e nêutrons tanto em objetos escuros quanto em objetos visíveis. No entanto, quando calculamos quanta "matéria escura" deve existir para explicar o movimento da matéria em nossa galáxia, descobrimos que a razão de matéria total para matéria visível não é de dois para um, mas próxima de dez para um. Se esse dado não estiver errado, a matéria escura não pode ser feita de prótons e nêutrons. Não há prótons e nêutrons suficientes.

Quando estudava física de partículas, no início dos anos 1980, era muito interessante descobrir se a matéria escura com uma estrutura nuclear diferente poderia realmente existir. Isso significava que as partículas dominantes do Universo não eram os bons e velhos nêutrons e prótons, mas talvez um novo

tipo de partícula elementar exótica, algo que não existia na Terra até então, mas era misterioso e fluía em meio às estrelas, além de gerenciar em silêncio todo o show gravitacional a que chamamos galáxia.

Ainda mais interessante, pelo menos para mim, era que isso gerava três novas linhas de pesquisa que poderiam lançar nova luz à natureza da realidade.

(1) Se essas partículas foram criadas no Big Bang, como os elementos leves, é possível usar as ideias sobre as forças que governam as interações das partículas elementares (em vez das interações dos núcleos relevantes na determinação da abundância de elementos) para estimar a abundância de partículas novas e exóticas no Universo.

(2) Pode ser possível inferir a abundância total da matéria escura no Universo tendo como base ideias teóricas da física de partículas, ou pode ser possível propor novos experimentos para detectar matéria escura — qualquer um nos diria a quantidade de matéria total existente e, portanto, qual a geometria de nosso Universo. O trabalho dos físicos não é inventar coisas que não podemos ver para explicar coisas que podemos ver, mas entender como ver as coisas que não podemos ver — ver o que antes era invisível, os desconhecidos conhecidos. Cada nova partícula elementar candidata a matéria escura sugere novas possibilidades de experimentos para detectar as partículas de matéria escura que desfilam pela galáxia, por meio de dispositivos na Terra que interceptam seu movimento pelo espaço. Em vez de usar telescópios para procurar objetos distantes, se as partículas de matéria escura estão por toda a galáxia, elas estão aqui conosco agora, e detectores terrestres podem revelar sua presença.

(3) Se pudéssemos determinar a natureza da matéria escura e sua abundância, talvez pudéssemos saber como o Universo acabará.

Esta última possibilidade parecia a mais emocionante de todas, então comecei por ela. Sim, envolvi-me na cosmologia, porque queria ser a primeira pessoa a saber como o Universo poderia acabar.

Parecia uma boa ideia na época.

Quando Einstein desenvolveu sua teoria da Relatividade Geral, em seu cerne estava a possibilidade de que o espaço poderia se curvar na presença de matéria ou energia. Essa ideia tornou-se mais que mera especulação em 1919, quando duas expedições observaram luz estelar curvando-se ao redor do Sol durante um eclipse solar com o grau exato que Einstein havia previsto caso a presença do Sol curvasse o espaço à sua volta. Einstein ficou famoso e virou um nome familiar. (A maioria das pessoas acha que foi a equação $E = mc^2$, que surgiu quinze anos antes, que tornou Einstein famoso, mas não foi.)

Agora, se o espaço é potencialmente curvo, então a geometria de todo o Universo fica bem mais interessante. Dependendo da quantidade total de matéria, ele pode existir em um de três tipos diferentes de geometrias: "aberta", "fechada" ou "plana".

É difícil imaginar como um espaço tridimensional pode ser curvo. Como somos seres tridimensionais, não conseguimos visualizar um espaço curvo tridimensional com a facilidade dos seres bidimensionais no famoso livro *Flatland*, que imaginavam como seu mundo pareceria a um observador tridimensional se fosse curvado como a superfície de uma esfera. Além do mais, se a curvatura for muito pequena, será difícil detectá-la no dia a dia, exatamente como, pelo menos durante a Idade Média, muitas pessoas achavam que a Terra devia ser plana porque, da perspectiva delas, parecia plana.

Universos curvos tridimensionais são difíceis de visualizar — um Universo fechado é como uma esfera tridimensional, o que parece bem intimidante —, mas alguns aspectos são fáceis de descrever. Se você olhasse longe o suficiente, em qualquer direção, em um Universo fechado, veria a própria nuca.

Embora essas geometrias exóticas pareçam divertidas ou impressionantes, operacionalmente sua existência gera uma consequência muito mais importante. A relatividade diz, sem equívocos, que um Universo fechado cuja densidade energética é dominada por matéria como estrelas e galáxias, além da matéria escura ainda mais exótica, um dia *deverá* entrar em colapso em um processo inverso do Big Bang — um *Big Crunch*, ou esmagamento, se preferir. Um Universo aberto continuará em expansão eterna a uma taxa finita, e um Universo plano está no limite, diminuindo a velocidade, mas nunca parando de fato.

Ao se determinar a quantidade de matéria escura, e assim a densidade total de massa no Universo, tem-se a tão prometida resposta à antiga questão (pelo menos tão antiga quanto T.S. Eliot): o Universo acabará com uma explosão ou com um gemido? A saga para determinar a abundância total de matéria escura data de, pelo menos, meio século, e alguém poderia escrever um livro inteiro sobre ela, o que na verdade eu já fiz, em meu livro *Quintessence*. No entanto, neste caso, como demonstrarei agora (com palavras *e* uma imagem), é verdade que uma única imagem vale mais do que mil (ou talvez 100 mil) palavras.

Os maiores objetos ligados gravitacionalmente no Universo são chamados de *superaglomerados* de galáxias. Eles podem conter milhares de galáxias e podem se estender através de dezenas de milhões de anos-luz. A maioria das galáxias está nesses superaglomerados, e a nossa própria localiza-se no Superaglomerado de Virgem, cujo centro está a cerca de 60 milhões de anos-luz de nós.

Como superaglomerados são muito grandes e massivos, praticamente qualquer coisa que caia no espaço será absorvida por eles. Portanto, se pudéssemos pesar superaglomerados de galáxias e estimar sua densidade total no Universo, poderíamos, então, "pesar o Universo", incluindo toda a matéria escura. Assim, usando as equações da relatividade, poderíamos determinar se há matéria suficiente para acabar com ele ou não.

Até aí tudo bem, mas como podemos pesar objetos que estão a dezenas de milhares de anos-luz? Simples: usando a gravitação!

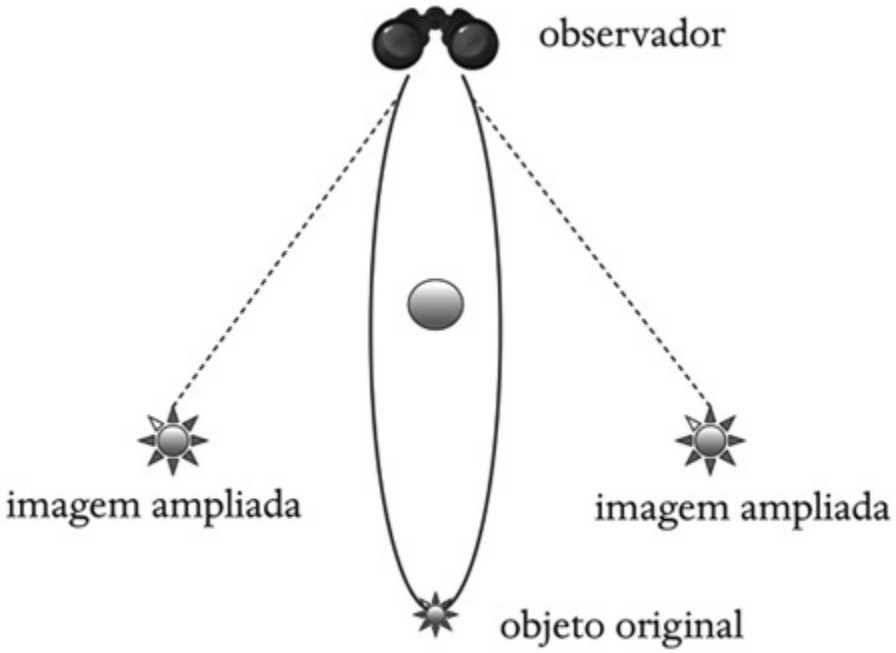
Em 1936, Albert Einstein, seguindo os apelos de um astrônomo amador, Rudi Mandl, publicou um trabalho na revista *Science* intitulado "Lens-Like Action of a Star by the Deviation of Light in the Gravitational Field". Nesse breve trabalho, Einstein demonstrou o fato impressionante de que o espaço poderia agir como uma lente, curvando e ampliando a luz, assim como as lentes de meus óculos de leitura.

Era uma época mais amistosa, e é interessante ler o início informal do trabalho de Einstein, que, afinal, foi publicado em uma revista científica de renome: "Algum tempo atrás, R.W. Mandl me fez uma visita e pediu que eu publicasse o resultado de um pequeno cálculo, que fiz a seu pedido. Este trabalho está em conformidade com seu desejo." Talvez essa informalidade lhe fosse permitida por ser Einstein, mas prefiro acreditar que era um produto da

época, quando os resultados científicos ainda não eram sempre redigidos em linguagem distante da falada por pessoas comuns.

De qualquer forma, o fato de a luz traçar trajetórias curvas se o próprio espaço se curvar na presença da matéria foi a primeira nova previsão significativa da teoria da Relatividade Geral, cuja descoberta levou Einstein à fama internacional. Então, talvez não surpreenda tanto (como foi descoberto recentemente) que, em 1912, muito antes de ter concluído sua teoria, Einstein tenha feito cálculos — enquanto tentava encontrar um fenômeno observável que convenceria astrônomos a testar suas novas ideias — essencialmente idênticos aos publicados em 1936, a pedido do sr. Mandl. Talvez por ter chegado, em 1912, à mesma conclusão publicada em 1936 — "não há grandes chances de se observar esse fenômeno" —, ele nunca tivesse se preocupado em publicar seu trabalho anterior. Aliás, após examinar seus cadernos de ambos os períodos, talvez ele nem se lembrasse dos cálculos que fizera 24 anos antes.

O que Einstein de fato reconheceu em ambas as ocasiões foi que a curvatura da luz em um campo gravitacional poderia significar que, se um objeto brilhante estivesse localizado bem atrás de uma distribuição de massa interferente, raios de luz emitidos em várias direções poderiam curvar-se ao redor da distribuição interposta e convergir outra vez, exatamente como fazem quando atravessam uma lente normal, produzindo uma ampliação do objeto original ou inúmeras cópias do objeto original, algumas das quais podendo ser distorcidas (ver figura a seguir).



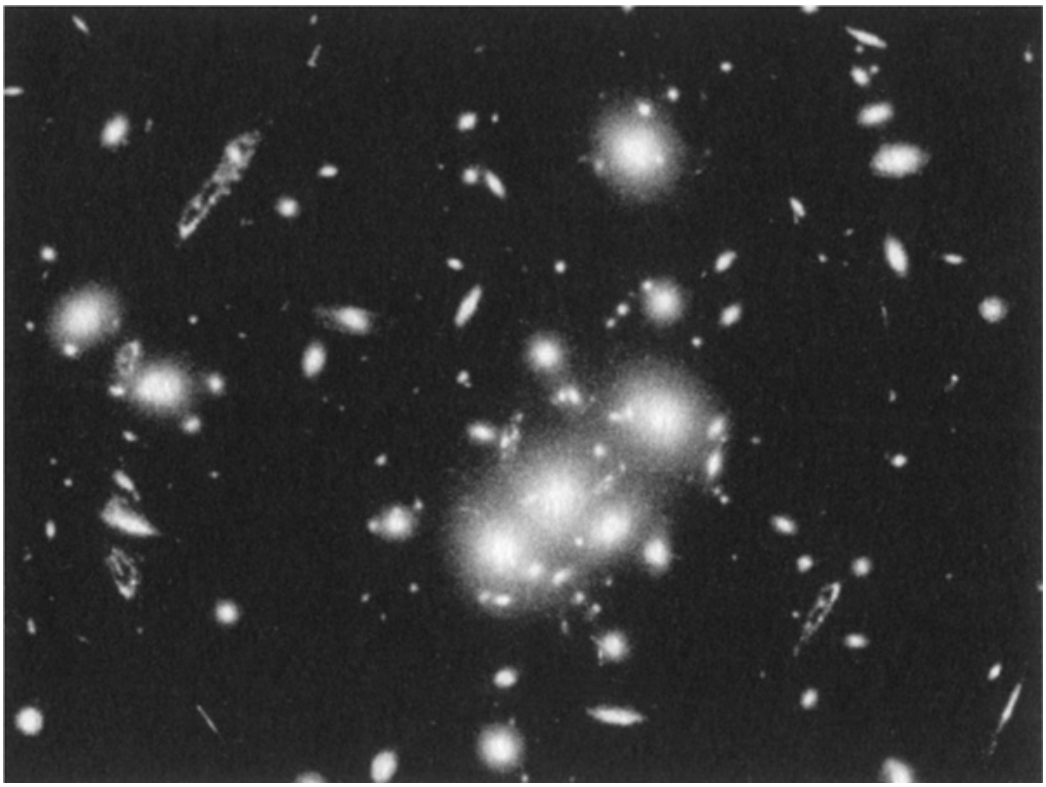
Quando calculou o efeito previsto para esse comportamento de uma estrela distante pela interferência de uma estrela em primeiro plano, o efeito foi tão pequeno que pareceu imensurável, o que o fez chegar à conclusão mencionada anteriormente: era improvável que tal fenômeno pudesse ser observado. A partir disso, Einstein compreendeu que seu trabalho tinha pouco valor prático. Como escreveu em carta ao editor da revista *Science* na época: "Deixe-me também agradecê-lo por sua cooperação com a publicação que o sr. Mandl espremeu de mim. É de pouco valor, mas deixa o pobre homem feliz."

No entanto, Einstein não era astrônomo, e seria necessário um astrônomo para perceber que o efeito previsto poderia não somente ser mensurável, mas também útil. Sua utilidade vinha de sua aplicação nos objetos distantes que funcionam como lentes gravitacionais devido a sistemas muito maiores, como galáxias ou até mesmo aglomerados de galáxias, e não em estrelas com comportamento de lentes. Alguns meses após a publicação de Einstein, o brilhante astrônomo do Instituto de Tecnologia da Califórnia, Fritz Zwicky, apresentou à *Physical Review* um trabalho em que demonstrava a praticabilidade desse efeito (e também menosprezava Einstein indiretamente por sua ignorância quanto ao tema).

Zwicky era um sujeito ranzinza e muito à frente de seu tempo. Já em 1933 havia analisado o movimento relativo de galáxias no aglomerado de Coma e determinado, usando as leis do movimento de Newton, que as galáxias estavam se movendo tão rápido que deveriam ter se distanciado, destruindo o aglomerado, a menos que houvesse muito mais massa nele, por um fator maior que cem, do tipo que poderia ser contado apenas nas estrelas. Então Zwicky deveria ser considerado o descobridor da matéria escura, embora, na época, sua conclusão fosse tão impressionante que os astrônomos provavelmente pensaram que deveria haver outra explicação menos exótica para o resultado encontrado.

Zwicky escreveu uma página em 1937 igualmente notável. Ele propôs três usos distintos para as lentes gravitacionais: (1) testar a relatividade geral; (2) usar galáxias como um tipo de telescópio, para ampliar objetos mais distantes, que, do contrário, seriam invisíveis a telescópios comuns; e, mais importante, (3) resolver o mistério de os aglomerados parecerem pesar mais do que pode ser explicado pela matéria visível: "Observações da deflexão da luz em torno de nebulosas podem fornecer uma determinação mais direta de massas nebulosas e esclarecer a discrepância supracitada."

Passaram-se mais de setenta anos desde o trabalho de Zwicky, mas ele mais parece uma proposta moderna de uso de lentes gravitacionais para examinar o Universo. De fato, todas as suas sugestões provaram-se corretas, e a última é a mais significativa. Lentes gravitacionais de quasares distantes provocadas por galáxias interferentes foram observadas pela primeira vez em 1987; em 1998, 61 anos após a proposta de Zwicky, a massa de um grande aglomerado foi determinada com o uso de lentes gravitacionais.

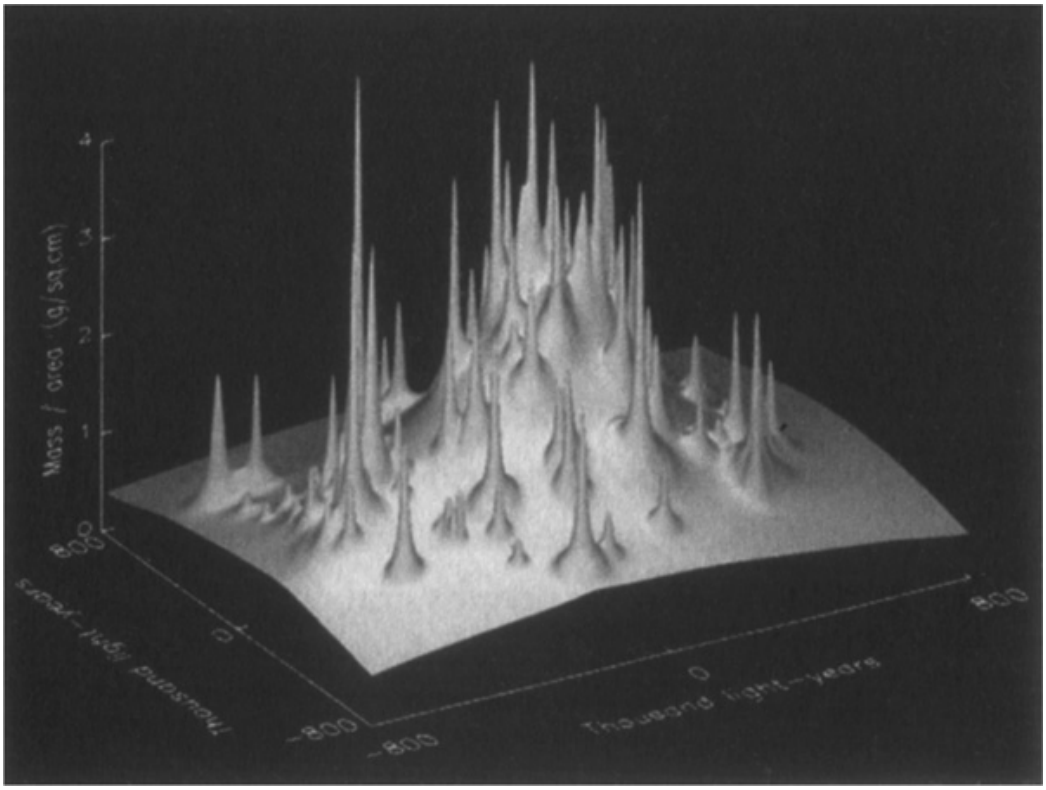


Naquele ano, o físico Tony Tyson e seus colegas, nos hoje extintos Laboratórios Bell (cuja tradição incluía prêmios Nobel importantes, da invenção do transistor à descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas), observaram um grande aglomerado distante, rotulado como CL 0024 + 1654 e localizado a cerca de 5 bilhões de anos-luz. Nessa bela imagem do telescópio Hubble, um exemplo espetacular da imagem múltipla de uma galáxia distante localizada a outros 5 bilhões de anos-luz atrás do aglomerado pode ser vista como imagens muito distorcidas e alongadas em meio às outras, geralmente mais redondas.

Olhar para essa imagem provoca a imaginação. Primeiro, cada ponto da foto é uma galáxia, não uma estrela. Cada galáxia contém talvez 100 bilhões de estrelas, além de provavelmente centenas de bilhões de planetas, e talvez civilizações há muito perdidas. Digo "há muito perdidas" porque a imagem tem 5 bilhões de anos. A luz foi emitida 500 milhões de anos antes de o Sol e a Terra terem se formado. Muitas dessas estrelas na foto não existem mais, pois seu combustível nuclear esgotou-se há bilhões de anos. As imagens grandes e

distorcidas à esquerda são versões muito ampliadas (e alongadas) dessa galáxia distante, que talvez não fosse visível de outra forma.

Trabalhar de trás para a frente com essa imagem para determinar a distribuição de massa subjacente no aglomerado é um desafio matemático complicado e complexo. Para fazê-lo, Tyson construiu um modelo computadorizado do aglomerado e traçou os raios através desse aglomerado de todos os jeitos possíveis, usando as leis da relatividade para determinar os caminhos mais apropriados, até que o melhor resultado correspondesse às suas observações. Quando a poeira baixou, Tyson e seus colaboradores obtiveram uma imagem gráfica que exibia precisamente onde a massa estava localizada nesse sistema:



Há algo de estranho nessa imagem. Os picos no gráfico representam a localização das galáxias visíveis na imagem original, mas a maior parte da massa do sistema localiza-se *entre* as galáxias, de forma suave e escura. Na verdade, há mais de quarenta vezes mais massa entre as galáxias do que na

matéria visível do sistema (trezentas vezes mais do que a massa contida nas estrelas com o restante da matéria visível que fica no gás quente entre elas). A matéria escura claramente não está confinada nas galáxias, mas também domina a densidade dos aglomerados.

Físicos como eu não ficaram surpresos com essa descoberta. Embora não tivéssemos um pingo de evidência, esperávamos que a quantidade de matéria escura devesse ser suficiente para resultar em um Universo plano, ou seja, deveria haver mais de cem vezes tanto de matéria escura quanto de matéria visível no Universo.

A razão era simples: um Universo plano é o único matematicamente belo. Por quê? Preste atenção.

Sendo ou não suficiente para produzir um Universo plano, observações como essas obtidas por lentes gravitacionais (lembre-se de que as lentes gravitacionais resultam da curvatura local do espaço ao redor de objetos massivos; o achatamento do Universo relaciona-se à curvatura média global do espaço, ignorando-se ondulações locais ao redor de objetos massivos) e as mais recentes de outras áreas da astronomia confirmaram que a quantidade total de matéria escura nas galáxias e nos aglomerados é hoje muito maior do que a permitida pelos cálculos da nucleossíntese do Big Bang. Agora temos quase certeza de que a matéria escura — cuja teoria, reitero, tem sido comprovada por diversos contextos astrofísicos, de galáxias a aglomerados — deve ser feita de algo inteiramente novo, que não existe na Terra. Esse tipo de coisa não é matéria estelar nem terrestre. Mas *é*, de fato, alguma coisa!

As primeiras conclusões quanto à matéria escura em nossa galáxia geraram um novo campo de física experimental, e fico feliz em dizer que contribuí para seu desenvolvimento. Como mencionei anteriormente, as partículas de matéria escura estão ao nosso redor — no cômodo onde estou escrevendo, assim como "lá fora", no espaço. Assim, podemos fazer experimentos para procurar por ela e pelo novo tipo de partícula elementar que a compõe.

Os experimentos estão sendo realizados em minas e túneis subterrâneos. Por que no subterrâneo? Porque na superfície da Terra somos bombardeados por todo tipo de raios cósmicos, do Sol e de objetos muito mais distantes. Como a matéria escura, por natureza, não interage de forma eletromagnética para produzir luz, concluímos que suas interações com a matéria normal são

extremamente fracas, ou seja, muito difíceis de detectar. Mesmo se formos bombardeados todos os dias com milhões de partículas de matéria escura, a maior parte delas passará por nós e pela Terra sem nem "saber" que estamos aqui, e vice-versa. Então, se quisermos detectar os efeitos das raras exceções à regra — partículas de matéria escura que saltam de átomos da matéria —, é bom que estejamos preparados para detectar acontecimentos muito raros. Apenas no subterrâneo estamos protegidos o suficiente dos raios cósmicos, mesmo que conceitualmente.

Enquanto escrevo isso, no entanto, está surgindo uma nova possibilidade animadora. O Grande Colisor de Hádrons, em Genebra, um superacelerador de partículas, entrou em funcionamento em 2008. Temos muitos motivos para acreditar que, com as energias altíssimas com que prótons são jogados uns contra os outros no dispositivo, condições similares às do início do Universo serão recriadas, ainda que apenas em regiões microscopicamente pequenas. Nelas, as mesmas interações que devem ter produzido as partículas de matéria escura no início do Universo podem hoje gerar partículas semelhantes em laboratório. Vem acontecendo, assim, uma grande corrida. Quem detectará as partículas de matéria escura primeiro: os pesquisadores no subterrâneo ou os cientistas que trabalham no Grande Colisor de Hádrons? A boa notícia é que, independentemente de quem ganhar a corrida, ninguém perde. Todos ganhamos, ao descobrir o constituinte definitivo da matéria.

Embora as medições astrofísicas que descrevi não revelem a identidade da matéria escura, elas indicam quanto dessa matéria existe. A quantidade total de matéria no Universo foi, de fato, determinada pelas medições das lentes gravitacionais, combinadas a observações de emissões de raios X dos aglomerados. É possível obter estimativas independentes da massa total dos aglomerados porque a temperatura dos gases nos que produzem os raios X é relacionada à massa total do sistema em que eles são emitidos. Os resultados foram surpreendentes e, como já mencionei, decepcionantes para muitos cientistas. Quando a poeira baixou, literal e metaforicamente, determinou-se que a massa total dentro e em volta de galáxias e aglomerados era apenas 30% do total necessário para obter um Universo plano. (Isso corresponde a mais de quarenta vezes a massa representada pela matéria visível, que, por sua vez,

corresponde a menos de 1% da massa necessária para resultar em um Universo plano.)

Einstein teria ficado de boca aberta se soubesse que sua "pequena publicação" está, no fim das contas, longe de ser inútil. Complementado por novas ferramentas experimentais e observacionais impressionantes que abriram novas janelas no cosmos — novos acontecimentos teóricos que o teriam espantado e encantado —, além da descoberta de matéria escura que provavelmente aumentaria sua pressão arterial, o pequeno passo de Einstein em direção ao mundo do espaço curvo transformou-se num salto gigantesco. No início dos anos 1990, o Santo Graal da cosmologia havia sido aparentemente alcançado. Observações determinaram que vivemos em um Universo aberto, um Universo que, portanto, estaria em expansão eterna. Será mesmo?

3

Luz do início dos tempos

Assim como era no princípio, é agora e será sempre…

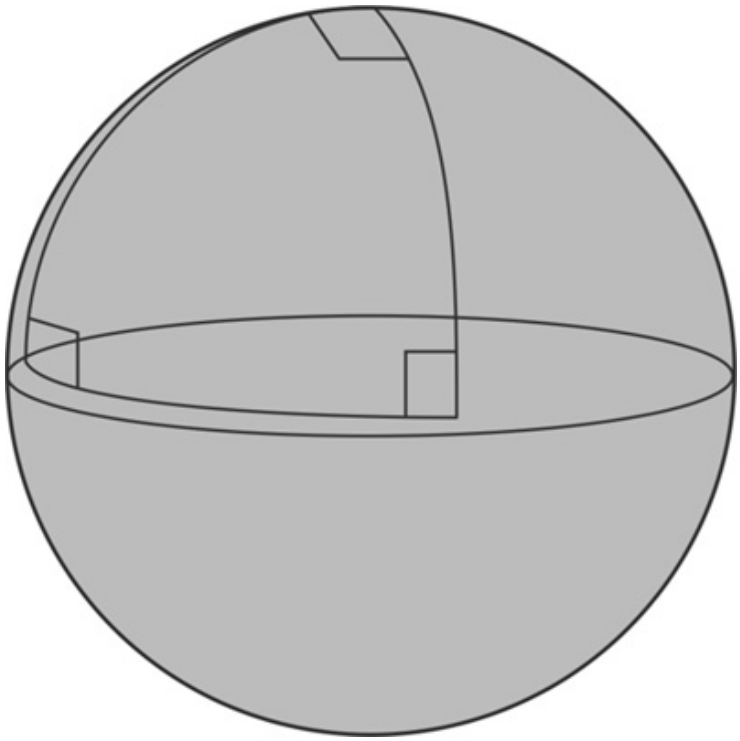
"Glória ao Pai"

Se pararmos para pensar, a tentativa de determinar a curvatura do Universo medindo a massa total contida nele e, em seguida, usando as equações da teoria da Relatividade Geral para trabalhar de trás para frente apresenta enormes problemas potenciais. Inevitavelmente, temos de imaginar que a matéria pode estar tão escondida que não teremos como descobri-la. Por exemplo, só podemos provar a existência de matéria usando a dinâmica gravitacional de sistemas visíveis como galáxias e aglomerados. Se a massa significativa estiver em outro lugar, não a veremos. Seria muito melhor medir logo a geometria de todo o Universo visível.

Mas como podemos medir a geometria tridimensional de todo o Universo visível? É mais fácil começar com uma pergunta mais simples: como determinar se um objeto bidimensional como a superfície da Terra é curvado se não pudermos contornar a Terra ou olhar para ela de um satélite?

Antes, poderíamos fazer a seguinte pergunta a um aluno do ensino médio: qual é a soma dos ângulos de um triângulo? (mas escolha a escola com cuidado; uma escola europeia seria uma boa aposta.) Ele responderia 180 graus, porque, sem dúvida, aprendeu geometria euclidiana — a geometria plana. Em uma superfície curva bidimensional, como um globo, pode-se desenhar um triângulo, e a soma de seus ângulos seria muito maior que 180 graus. Por exemplo, desenhe uma linha ao longo do equador, então faça um

ângulo reto, subindo até o polo Norte, e outro ângulo reto, voltando ao equador, como mostrado a seguir. Três vezes 90 são 270, muito mais que 180. *Voilà!*



Acontece que esse simples pensamento bidimensional estende-se de maneira direta e idêntica a três dimensões, porque os matemáticos que propuseram a geometria espacial, ou não euclidiana, pela primeira vez perceberam que as mesmas possibilidades poderiam existir em três dimensões. Na verdade, o matemático mais famoso do século XIX, Carl Friedrich Gauss, ficou tão fascinado com a possibilidade de nosso Universo ser curvo que usou dados de mapas de pesquisa geodésica dos anos 1820 e 1830 para medir triângulos grandes entre os topos das montanhas Hohenhagen, Inselberg e Brocken e determinar alguma curvatura no próprio espaço. Claro, o fato de as montanhas estarem na superfície curva da Terra significa que sua curvatura bidimensional teria interferido em qualquer medição que ele realizasse para investigar a curvatura no espaço tridimensional no qual a Terra está situada, o que ele devia saber. Acredito que Gauss estava planejando subtrair qualquer

contribuição do tipo de seus resultados finais para ver se qualquer curvatura restante poderia ser atribuível a uma curvatura do próprio espaço.

A primeira pessoa que tentou medir a curvatura do espaço foi um matemático obscuro, Nikolai Ivanovich Lobachevsky, que vivia na remota Kazan, na Rússia. Ao contrário de Gauss, Lobachevsky foi um dos dois matemáticos que tiveram a ousadia de propor na imprensa a possibilidade de existência das chamadas geometrias curvas "hiperbólicas", quando linhas paralelas podem divergir. Notavelmente, em 1830, Lobachevsky publicou seu estudo sobre geometria hiperbólica (hoje chamada de Universos "negativamente curvos" ou "abertos").

Pouco tempo depois, ao questionar se o Universo tridimensional poderia ser hiperbólico, Lobachevsky sugeriu "investigar um triângulo estelar para uma resolução experimental da questão". Sugeriu que a estrela brilhante Sirius poderia ser observada a cada seis meses, quando a Terra estivesse em qualquer dos lados de sua órbita. Ele concluiu que qualquer curvatura do Universo deve ter pelo menos 166 mil vezes o raio da órbita da Terra.

É um número alto, mas insignificante em escalas cósmicas. Infelizmente, embora Lobachevsky estivesse certo, estava limitado pela tecnologia de seu tempo. No entanto, 150 anos depois, resultados puderam ser obtidos, graças às análises mais importantes de toda a cosmologia: as medições da radiação cósmica de fundo em micro-ondas, ou RCFM.

A RCFM não é nada menos que o brilho remanescente do Big Bang. Ela fornece evidência direta, caso seja necessário, de que o Big Bang realmente aconteceu, porque permite que detectemos a natureza de um Universo muito jovem e quente do qual surgiram todas as estruturas que vemos hoje.

Uma das muitas coisas impressionantes sobre a RCFM é que ela foi descoberta em Nova Jersey por dois cientistas que não tinham a menor ideia do que estavam procurando. Outra coisa é que ela estava embaixo de nosso nariz por décadas, potencialmente observável, mas nunca a tínhamos visto. Na verdade, talvez você tenha idade suficiente para ter visto seus efeitos sem perceber, se ainda lembrar a época anterior à chegada da TV a cabo, quando os canais costumavam encerrar a transmissão nas primeiras horas do dia e não transmitiam programas a noite toda. Quando saíam do ar, após transmitir um

padrão de teste, a tela ficava estática. Cerca de 1% dessa estática era resto de radiação do Big Bang.

A origem da radiação cósmica de fundo em micro-ondas é relativamente simples. Como o Universo tem uma idade finita (lembre-se, ele tem 13,72 bilhões de anos), e se ao olharmos para objetos cada vez mais distantes estamos olhando cada vez mais para trás no tempo (já que a luz leva mais tempo para chegar até nós vindo desses objetos), podemos imaginar que, se olhássemos para longe o suficiente, veríamos o próprio Big Bang. Inicialmente isso não é possível, pois, na prática, entre nós e os primórdios há uma parede. Não uma parede física como as do cômodo onde estou escrevendo, mas uma parede que, em grande medida, tem o mesmo efeito.

Não consigo ver através das paredes do meu escritório porque elas são opacas. Absorvem a luz. Agora, quando olho cada vez mais para trás no tempo, posso ver o Universo cada vez mais jovem e cada vez mais quente, já que ele vem resfriando desde o Big Bang. Se eu olhar para trás o suficiente, para um tempo em que o Universo tinha cerca de 300 mil anos, verei que sua temperatura era de mais ou menos 3 mil graus (Kelvin)* acima do zero absoluto. Nessas condições, a radiação ambiente era tão energética que era capaz de quebrar os átomos dominantes do Universo, átomos de hidrogênio, em seus constituintes, prótons e elétrons. Antes disso, a matéria neutra não existia. Toda a matéria do Universo era composta de um plasma denso de partículas carregadas que interagiam com a radiação.

Um plasma é, no entanto, radiação opaca. Suas partículas carregadas absorvem prótons e os reemitem para que a radiação não consiga passar através de um determinado material de forma ininterrupta. Assim, se eu tentar olhar para trás no tempo, não poderei ver quando foi a última vez que a matéria foi composta pelo tal plasma.

Mais uma vez, funciona como as paredes do meu escritório. Só posso vê-las porque os elétrons da superfície da parede absorvem luz da luz do meu escritório e a reemitem. Além disso, o ar entre mim e as paredes é transparente, então consigo ver todo o caminho até a superfície da parede que emitiu a luz. O mesmo acontece com o Universo. Quando olho para ele, consigo ver tudo até a "superfície de última difusão", o ponto no qual o Universo se tornou neutro (quando prótons e elétrons foram combinados para

formar átomos neutros). A partir daí, o Universo se tornou transparente à radiação, e agora é possível ver a radiação absorvida e reemitida pelos elétrons, uma vez que a matéria do Universo se tornou neutra.

É uma *previsão* do conceito do Big Bang do Universo que deveria haver radiação vindo até mim de todas as direções a partir daquela "superfície de última difusão". Como o Universo se expandiu por um fator de mais ou menos 1.000 desde aquele tempo, a radiação resfriou-se e hoje está aproximadamente 3 graus acima do zero absoluto. E foi exatamente esse o sinal que os dois cientistas desafortunados descobriram, em 1965, em Nova Jersey — e por essa descoberta receberam o prêmio Nobel.

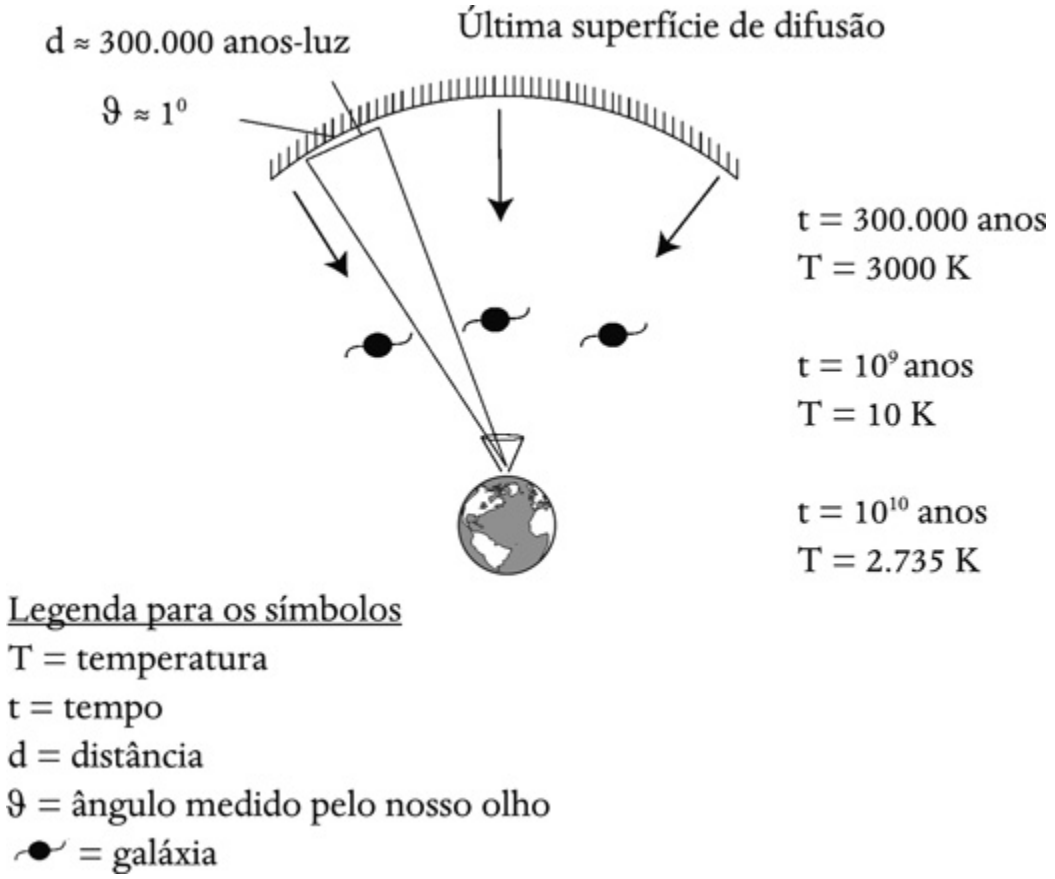
Na verdade, um segundo Nobel foi dado mais recentemente por observações da radiação cósmica de fundo em micro-ondas, e com razão. Se pudéssemos "tirar uma foto" da "superfície de última difusão", teríamos uma imagem do Universo neonatal, com menos de 300 mil anos de existência. Veríamos todas as estruturas que um dia entrariam em colapso e formariam galáxias, estrelas, planetas, alienígenas e todo o restante. Mais importante, observaríamos essas estruturas antes de terem sido afetadas por toda a evolução dinâmica subsequente que obscureceu a natureza fundamental e a origem das pequenas perturbações na matéria e na energia, criadas por processos exóticos nos primeiros momentos do próprio Big Bang.

Mais determinante para nosso propósito, no entanto, é que nessa superfície haveria uma escala característica, impressa por nada mais que o próprio tempo. Entenda assim: se considerarmos uma distância de cerca de 1 grau na superfície de última difusão vista por um observador na Terra, isso corresponderia a uma distância nessa superfície de cerca de 300 mil anos-luz. Agora, como a superfície de última difusão reflete um tempo em que o próprio Universo tinha cerca de 300 mil anos, e como Einstein afirma que nenhuma informação pode viajar pelo espaço numa velocidade mais rápida que a da luz, isso significa que nenhum sinal poderia viajar por essa superfície naquele tempo cruzando mais que 300 mil anos-luz.

Considere uma massa de matéria de diâmetro menor que 300 mil anos-luz. Essa massa teria começado a entrar em colapso devido à sua própria gravidade. No entanto, uma massa maior que 300 mil anos-luz de diâmetro nem começaria a entrar em colapso, porque ainda nem "sabe" que é uma

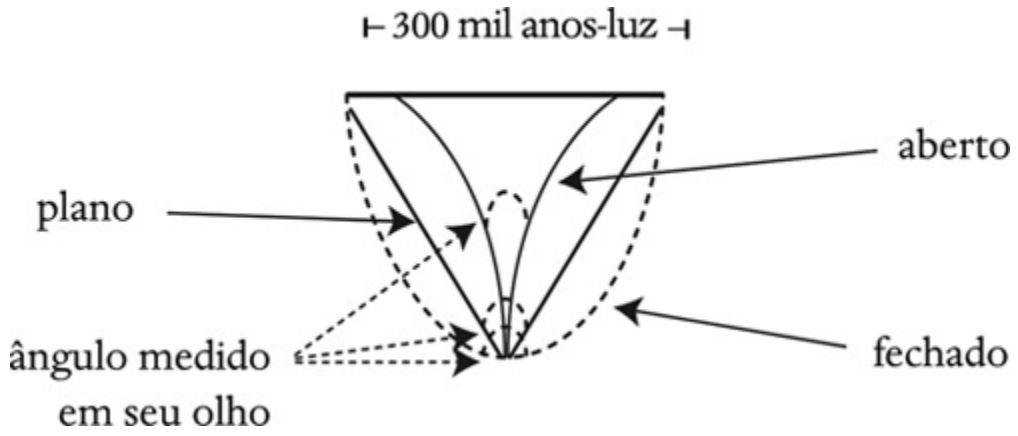
massa. A gravidade, que também viaja na velocidade da luz, não poderia ter percorrido toda a extensão da massa. Então, como o Coiote no desenho do Papa-Léguas, que corre em direção a um penhasco e fica suspenso no ar, a massa simplesmente ficará lá, esperando entrar em colapso quando o Universo tiver idade suficiente para que ela o faça.

Distingue-se disso uma espécie de triângulo, com um lado com 300 mil anos-luz, uma distância conhecida de nós, determinada pela distância entre nós e a superfície de última difusão, conforme demonstrado abaixo.



As maiores massas de matéria, que já terão começado a entrar em colapso e a produzir pontos quentes na imagem da superfície de fundo em micro-ondas, abrangerão essa escala angular. Se pudermos obter uma imagem dessa superfície como ela era naquele tempo, esses pontos quentes deveriam ser, em média, as maiores e mais significativas massas de matéria que veríamos na imagem.

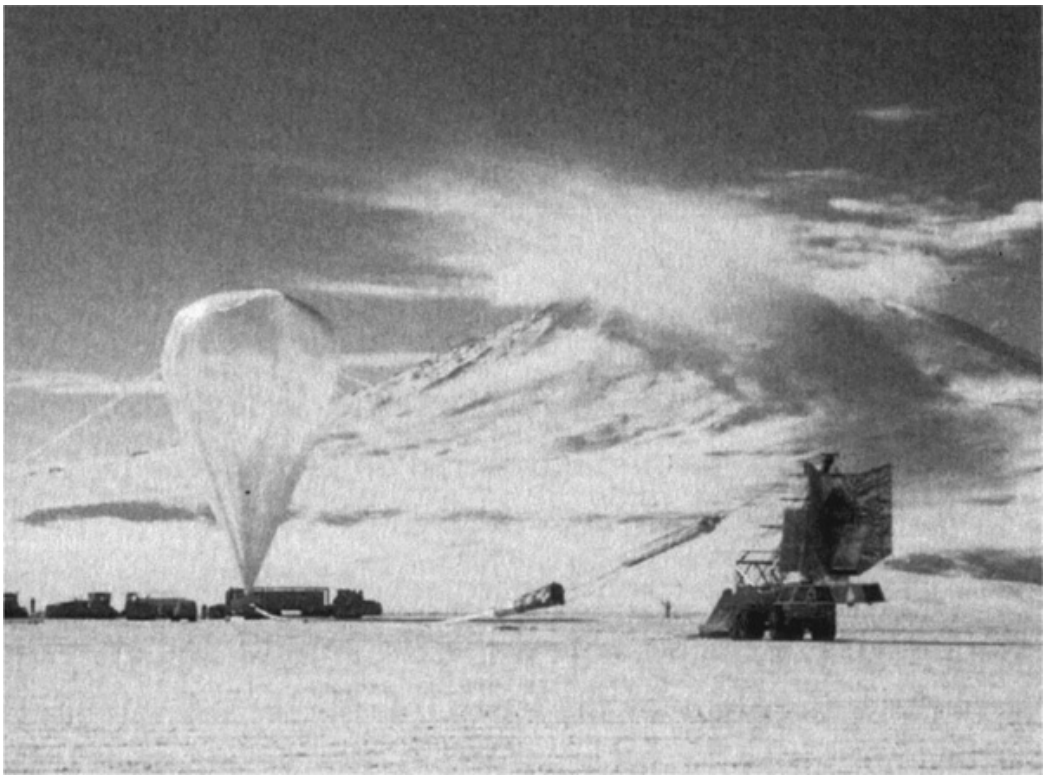
No entanto, o fato de o ângulo alcançado por essa distância ser precisamente 1 grau, na verdade, será determinado pela geometria do Universo. Em um Universo plano, os raios de luz viajam em linhas retas. Em um Universo aberto, contudo, os raios de luz dobram-se para fora conforme os observamos para trás no tempo. Em um Universo fechado, raios de luz convergem conforme os observamos para trás no tempo. Assim, o ângulo real formado em nosso olho por uma régua que tem 300 mil anos-luz de comprimento, localizada a uma distância associada à superfície de última difusão, depende da geometria do Universo, como demonstrado abaixo:



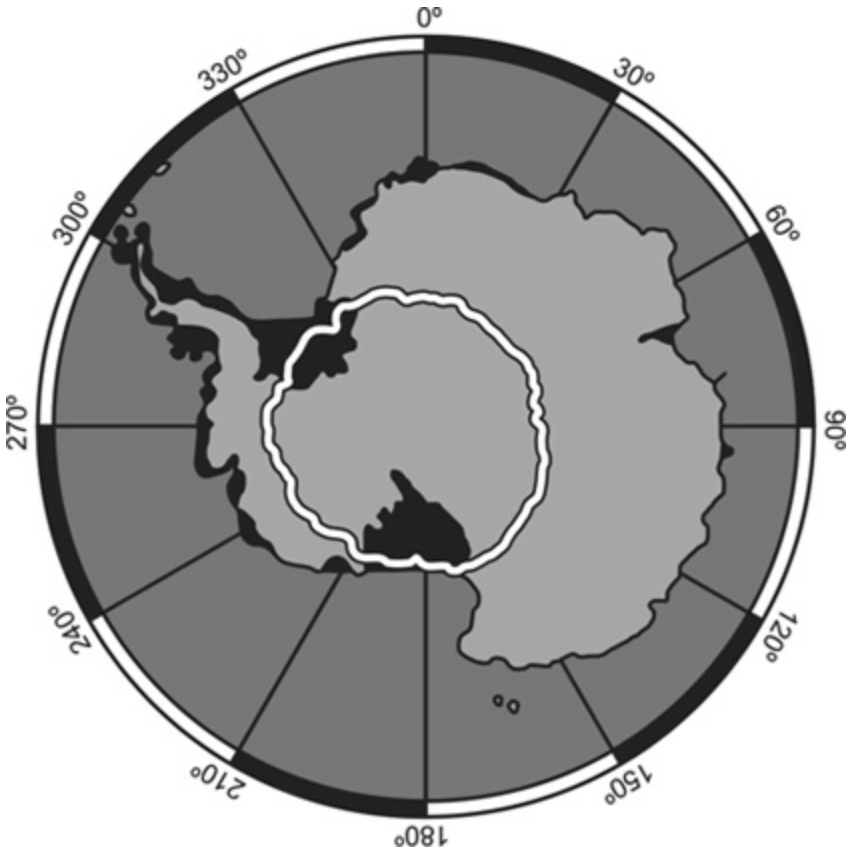
Isso fornece um teste direto e claro da geometria do Universo. Como o tamanho dos maiores pontos (quentes ou frios) da imagem da radiação de fundo em micro-ondas depende apenas da causalidade — a gravidade só pode se propagar à velocidade da luz e, assim, a maior região que pode ter entrado em colapso naquele tempo é determinada pela maior distância que um raio de luz pode ter viajado naquele tempo — e como o ângulo que vemos determinado por uma régua fixa a certa distância é determinado apenas pela curvatura do Universo, Coisa focccuma simples imagem da superfície de última difusão pode revelar a geometria do espaço-tempo.

A primeira tentativa para comprovar essa observação foi um experimento com um balão realizado na Antártica em 1997, chamado BOOMERANG. Embora, em inglês, a palavra seja um acrônimo de Balloon Observations of Milimetric Extragalactic Radiation And Geophysics (Observações em Balão de Radiação Extragaláctica Milimétrica e Geofísica), a razão pela qual o

experimento foi batizado assim é mais simples. Um radiômetro de micro-ondas foi preso a um balão de alta altitude, como mostrado na figura.



O balão então viajou ao redor do mundo, o que é fácil de se fazer na Antártica. Na verdade, no polo Sul é muito fácil fazer isso, já que se pode simplesmente dar a volta em um círculo. No entanto, sair da estação McMurdo, contornar o continente, com a ajuda dos ventos polares, e retornar ao ponto de partida levou duas semanas, por isso o nome BOOMERANG.

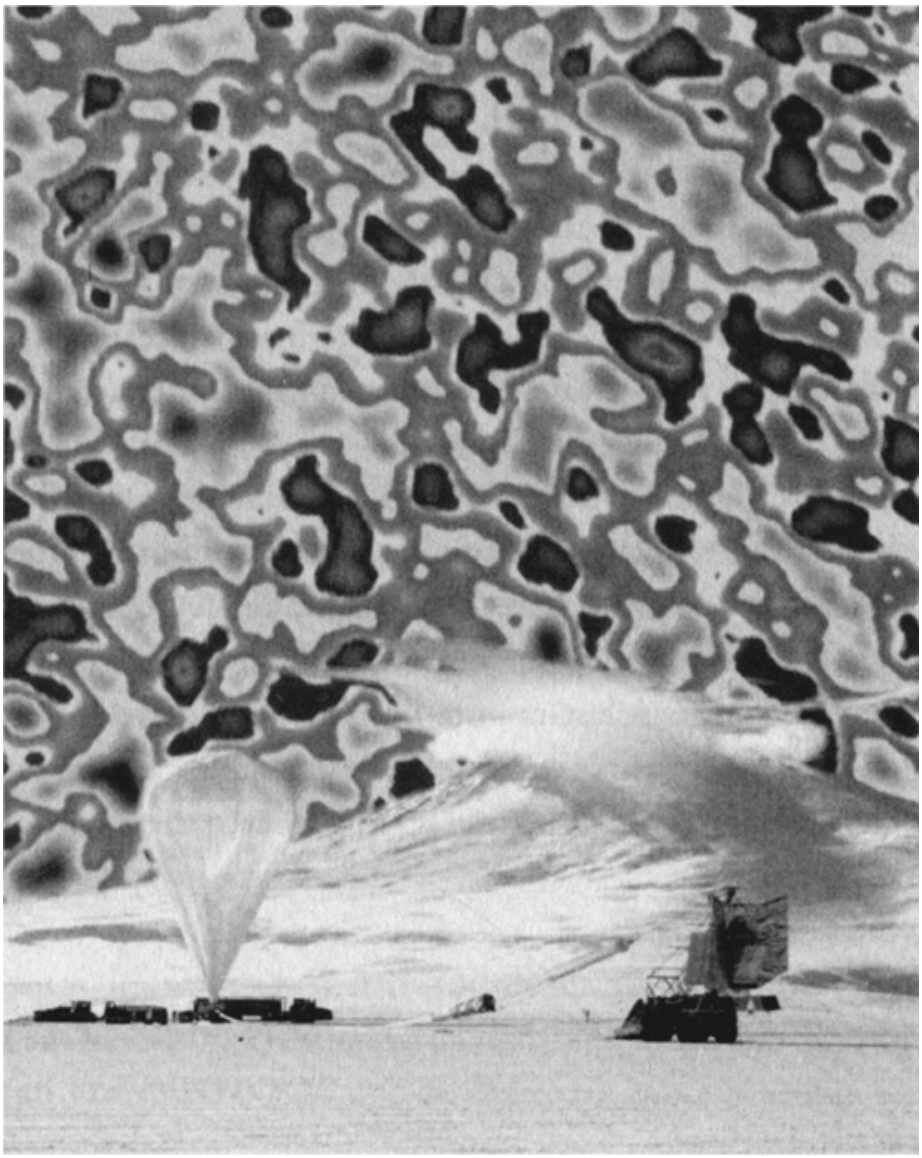


A trajetória do balão ao redor da Antártica

O objetivo da viagem de balão era simples. Para conseguir uma visão do fundo em micro-ondas, refletindo uma temperatura de 3 graus acima do zero absoluto (escala Kelvin),** que não fosse contaminada pela matéria da Terra, muito mais quente (mesmo na Antártica as temperaturas são 200 graus mais quentes que a temperatura da radiação cósmica de fundo em micro-ondas), devemos ir ao ponto mais longe possível acima do solo e até da própria atmosfera da Terra. Satélites são usados para esse fim, mas balões de alta altitude podem fazer o mesmo por um valor menor.

De qualquer forma, após duas semanas, o BOOMERANG retornou com a imagem de uma pequena parte do céu em micro-ondas, mostrando pontos quentes e frios no padrão de radiação vindo da superfície de última difusão. A seguir, uma imagem da região que o experimento observou (com "pontos

quentes" e "pontos frios" em tons escuros e claros, respectivamente), sobreposta à foto original do experimento:

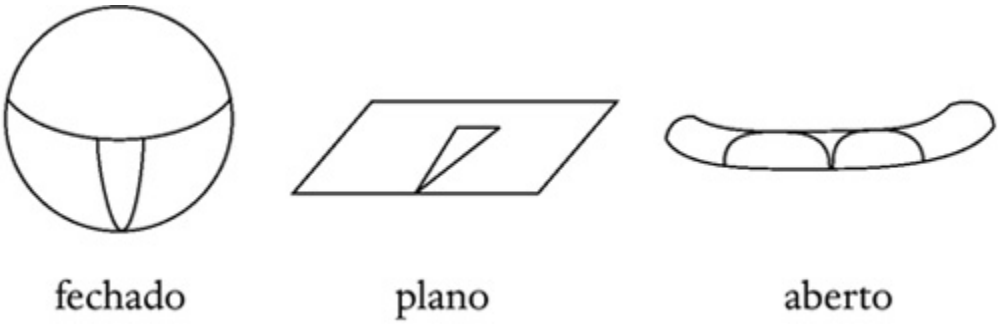


Essa imagem tem duas finalidades. Primeiro, mostra a escala física verdadeira de pontos quentes e frios vistos no céu pelo BOOMERANG, com os elementos em primeiro plano para comparação; mas também ilustra outro aspecto importante daquilo que só pode ser chamado de miopia cósmica. Quando olhamos para cima em um dia ensolarado, vemos o céu azul, como mostrado na imagem anterior do satélite. Isso se deve ao fato de termos

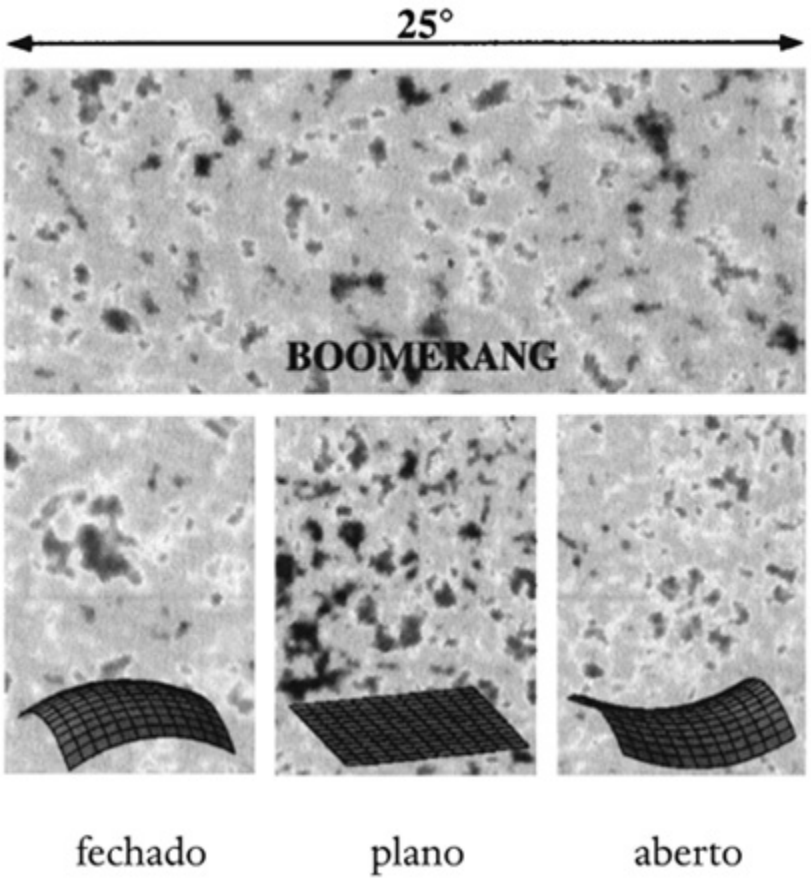
evoluído no sentido de ver luz visível. Isso acontece, sem dúvida, tanto porque a luz da superfície do Sol atinge o ponto máximo na região visível quanto porque muitos outros comprimentos de onda de luz são absorvidos na atmosfera terrestre, não podendo chegar até a superfície (ainda bem, já que muito dessa radiação pode ser prejudicial). De qualquer forma, se tivéssemos evoluído a ponto de "ver" a radiação em micro-ondas, a imagem que veríamos do céu, de dia ou de noite, contanto que não estivéssemos olhando diretamente para o Sol, nos levaria diretamente de volta a uma imagem da superfície de última difusão, a mais de 13 bilhões de anos-luz de distância. Essa é a "imagem" que o detector do BOOMERANG nos retornou.

O primeiro voo do BOOMERANG que produziu essa imagem foi muito bem-sucedido. A Antártica é um ambiente hostil e imprevisível. Em um voo posterior, em 2003, o experimento quase fracassou devido ao mau funcionamento do balão e à tempestade subsequente. A decisão de desvencilhar o dispositivo do balão antes que ele fosse levado para algum lugar inacessível foi providencial, e uma missão de busca e resgate localizou a carga na planície da Antártica, recuperando o recipiente pressurizado que continha os dados científicos.

Antes de interpretar a imagem do BOOMERANG, quero enfatizar mais uma vez que o tamanho físico real dos pontos quentes e frios gravados são fixados por física simples associada à superfície de última difusão, enquanto os tamanhos *medidos* dos pontos quentes e frios na imagem derivam da geometria do Universo. Uma analogia bidimensional simples pode ajudar a explicar melhor o resultado: em 2D, uma *geometria fechada* lembra uma esfera, enquanto uma *geometria aberta* lembra um guidão de bicicleta. Se desenharmos um triângulo nessas superfícies, observaremos o efeito que descrevi: linhas retas convergem na esfera e divergem no guidão e, é claro, permanecem retas na superfície plana:

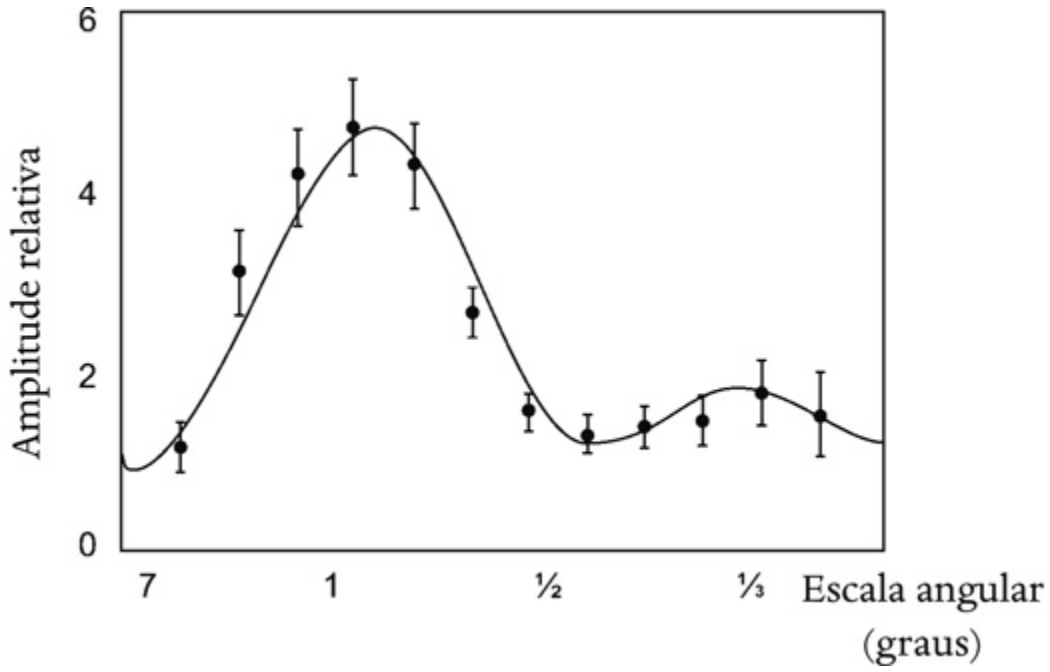


Então, a pergunta de 1 milhão de dólares agora é: qual *é* o tamanho dos pontos quentes e frios na imagem do BOOMERANG? Para responder, a pesquisa preparou diversas imagens simuladas de pontos quentes e frios, conforme seriam vistos em Universos abertos, fechados e planos, e comparou-as com (outra falsa cor) imagens do verdadeiro céu em micro-ondas:



Se examinarmos a imagem da simulação de um Universo fechado, veremos que a média dos pontos é maior do que no Universo real. No Universo aberto, o tamanho médio dos pontos é menor. Mas, assim como o Princípio de Cachinhos Dourados, só a imagem do Universo plano é a correta. O Universo matematicamente belo que os teóricos esperavam parecia ser sustentado por essa constatação, embora entre em conflito com a estimativa feita ao avaliar os aglomerados de galáxias.

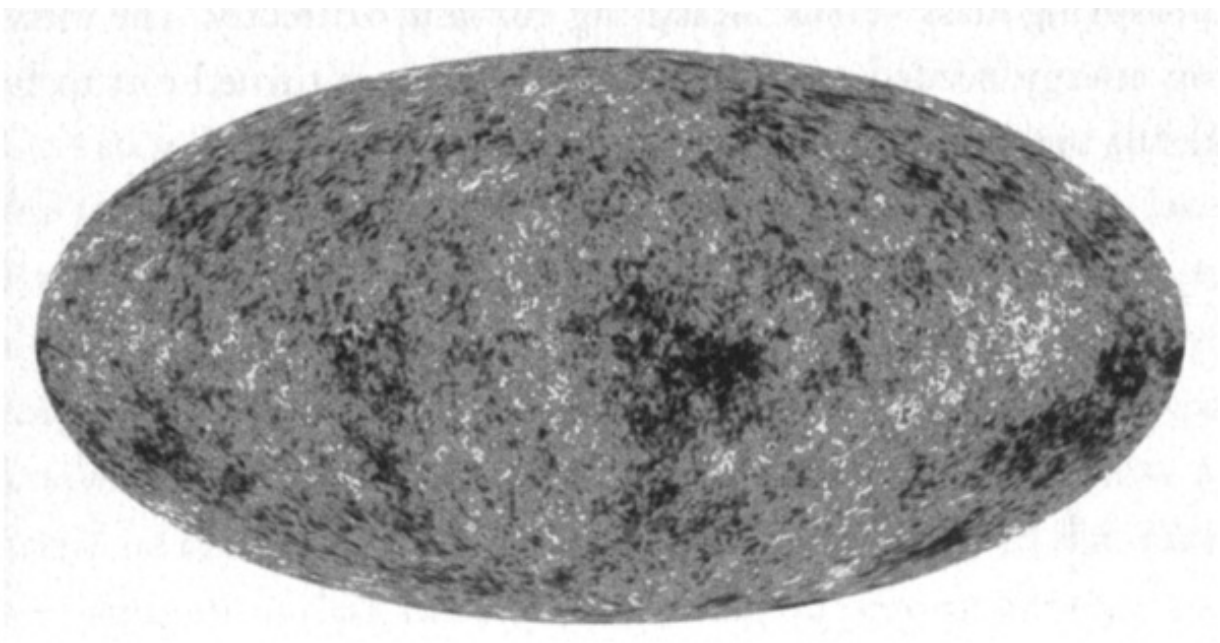
Na verdade, a compatibilidade entre as previsões de um Universo plano e a imagem obtida pelo BOOMERANG é quase vergonhosa. Examinando os pontos e procurando os que entraram em colapso significativo no tempo refletido na superfície de última difusão, a equipe do BOOMERANG produziu o gráfico a seguir:



Os dados são os pontos. A linha cheia dá a previsão de um Universo plano, cuja maior colisão ocorre perto de 1 grau.

Depois que o experimento BOOMERANG publicou seus resultados, uma análise de satélite muito mais sensível do fundo em micro-ondas foi lançada pela Nasa, a Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Batizada em homenagem ao físico David Wilkinson — membro da equipe da Universidade

de Princeton que teria descoberto o RCFM se os cientistas dos Laboratórios Bell não tivessem chegado antes —, a sonda WMAP foi lançada em junho de 2001. Foi enviada para uma distância de 2,4 milhões de quilômetros da Terra, onde, no lado que estava mais distante do Sol, pôde ver o céu em micro-ondas sem contaminação de luz. Ao longo de um período de sete anos, a WMAP fotografou todo o céu em micro-ondas com precisão inédita (não apenas uma porção do céu, como fez o BOOMERANG, uma vez que este teve de lidar com a presença da Terra embaixo de si).



Na imagem da WMAP, todo o céu é projetado em um plano, exatamente como a superfície do globo é projetada em um mapa-múndi. O plano para nossa galáxia ficaria ao longo do equador, e 90 graus acima de nossa galáxia fica o polo Norte; 90 graus abaixo, o polo Sul. A imagem da galáxia, no entanto, foi removida do mapa para refletir puramente a radiação que vem da superfície de última difusão.

Com esse tipo de dados, uma estimativa muito mais precisa da geometria do Universo pôde ser feita. Uma trama do WMAP, análoga à apresentada para a imagem do BOOMERANG, confirma com precisão de 1% que vivemos em um Universo plano! A expectativa dos teóricos estava correta. Contudo, mais

uma vez, não podemos ignorar a aparente inconsistência óbvia desse resultado em relação ao que descrevi no último capítulo. Pesar o Universo medindo a massa de galáxias e aglomerados produz um valor menor em um fator de 3 do que a quantidade necessária para resultar em um Universo plano. Algo tem que ceder.

Enquanto os cientistas comemoravam por terem descoberto que o Universo é plano, quase ninguém se preparou para a surpresa que a natureza tinha reservado para resolver as estimativas contraditórias da geometria do Universo vindas da medição da massa *versus* a medição da curvatura. A energia que faltava para resultar em um Universo plano revelou estar escondida bem debaixo de nosso nariz, literalmente.

Notas

* Ver nota 1. (N.E.)
** Ver nota 1. (N.E.)

4

Muito barulho por nada

Menos é mais.

Ludwig Mies van der Rohe, a partir de Robert Browning

Um passo para a frente, dois para trás. Era o que parecia acontecer na nossa busca por compreender o Universo e dar a ele uma configuração precisa. Embora as observações tivessem finalmente definido a curvatura do Universo — e, no processo, validado suspeitas teóricas antigas —, de repente, ainda que fosse notável a existência de dez vezes mais matéria do que o correspondente aos prótons e nêutrons, mesmo aquela quantidade massiva de matéria escura — compreendendo 30% do necessário para produzir um Universo plano — não estava nem perto do necessário para corresponder a toda a energia do Universo. A medição direta da geometria do Universo e a consequente descoberta de que ele é plano significou que 70% de sua energia ainda estavam faltando, sem estar dentro ou ao redor das galáxias, ou mesmo dos aglomerados de galáxias!

As coisas não eram tão chocantes quanto as fiz parecer. Mesmo antes das medições da curvatura do Universo e da determinação da massa total agrupada dentro dele (descritas no capítulo 2), havia sinais de que a imagem teórica convencional do Universo que tínhamos na época — com matéria escura suficiente (três vezes mais do que hoje sabemos que existe, na verdade) para ser espacialmente plano — não condiziam com as observações. De fato, em 1995, eu escrevera um artigo herege com Michael Turner, um colega da Universidade de Chicago, no qual sugeria que essa imagem convencional

podia não estar correta e que, na verdade, a única possibilidade que parecia consistente tanto com um Universo plano (nossa preferência teórica na época) quanto com as observações dos aglomerados de galáxias e suas dinâmicas internas era um Universo muito mais bizarro e que remontava a uma ideia teórica louca que Albert Einstein teve em 1917 — abandonada desde então — para resolver a contradição aparente entre as previsões de sua teoria e o Universo estático em que ele achava que vivíamos.

Pelo que me lembro, nossa motivação residia mais em mostrar que algo estava errado com a sabedoria dominante do que sugerir uma solução para o problema. A proposta parecia muito louca para realmente se acreditar nela, então acho que ninguém ficou mais surpreso do que nós mesmos quando se descobriu, três anos depois, que nossa sugestão herege era precisa!

Voltemos a 1917. Lembre-se de que Einstein desenvolvera a teoria da Relatividade Geral e tivera palpitações de alegria por poder explicar a precessão do periélio de Mercúrio, mesmo que essa teoria não explicasse o Universo estático em que ele acreditava viver.

Se tivesse mais certeza de suas convicções, talvez Einstein *previsse* que o Universo não podia ser estático. Mas não. Em vez disso, percebeu que podia fazer uma pequena mudança em sua teoria — uma mudança que concordava com os argumentos matemáticos que o levaram a desenvolver a teoria da Relatividade Geral e que pareciam permitir um Universo estático.

Embora os detalhes sejam complexos, a estrutura geral das equações de Einstein na teoria da Relatividade Geral é razoavelmente simples. O lado esquerdo das equações descreve a curvatura do Universo e, consequentemente, a intensidade das forças gravitacionais que agem na matéria e na radiação. A quantidade dessas forças é determinada no lado direito da equação, que reflete a densidade total de todos os tipos de energia e matéria do Universo.

Einstein percebeu que acrescentar uma pequena constante extra ao lado esquerdo da equação produziria uma pequena força *repulsiva* constante extra em todo o espaço além da atração gravitacional padrão entre objetos distantes, que diminui conforme a distância entre eles aumenta. Se fosse pequena o suficiente, essa força extra poderia ser indetectável em escalas humanas ou mesmo na escala do nosso sistema solar, onde a lei da gravitação de Newton

funciona tão bem. Porém, ele pensou que, como era constante em todo o espaço, poderia ser maior que a escala de nossa galáxia e grande o suficiente para neutralizar as forças atrativas entre objetos muito distantes. Por isso, Einstein pensou que essa estrutura poderia resultar em um Universo estático em escalas maiores.

Einstein chamou seu termo extra de *termo cosmológico*. Por ser apenas o acréscimo de uma constante às equações, agora é convencional chamar esse termo de *constante cosmológica*.

Depois de reconhecer que o Universo estava em expansão, Einstein dispensou seu termo. Dizem que a decisão de adicioná-lo foi um de seus maiores tropeços.

Mas livrar-se de um termo não é tão fácil assim. É como tentar colocar a pasta de dentes de volta no tubo depois de tê-lo apertado. Hoje, temos uma imagem completamente diferente da constante cosmológica, de modo que, se Einstein não tivesse adicionado o termo, outra pessoa o teria feito anos depois.

Deslocar o termo de Einstein do lado esquerdo das equações para o lado direito é um pequeno passo para um matemático, mas um salto gigantesco para um físico. Embora seja completamente trivial fazê-lo matematicamente, uma vez que ele esteja do lado direito, onde ficam todos os termos que contribuem para a energia do Universo, representará algo completamente diferente do ponto de vista físico: uma nova contribuição para a energia total. Mas o termo poderia contribuir com o quê?

A resposta é: *nada*.

Com "nada", não quero dizer nada, mas *nada* — nesse caso, o nada a que normalmente chamamos espaço vazio. Se eu pego uma região do espaço e me livro de tudo o que tem dentro dela — poeira, gases, pessoas e até mesmo a radiação que passa por ela, ou seja, absolutamente *tudo* o que existe naquela região —, e o espaço vazio *tem algum peso*, isso corresponderia à existência de um termo cosmológico como o inventado por Einstein.

Agora, isso faz com que a constante cosmológica de Einstein pareça ainda mais maluca! Qualquer aluno do quinto ano é capaz de dizer quanta energia o nada contém, mesmo que ele não saiba o que é energia. A resposta deve ser nada.

Infelizmente, a maioria dos alunos de quinto ano não teve aula de mecânica quântica nem estudou relatividade. Pois, quando se incorporam os resultados da teoria da Relatividade Especial de Einstein ao Universo quântico, o espaço vazio fica ainda mais estranho. Tão estranho, na verdade, que até mesmo os primeiros físicos, que descobriram e analisaram esse novo comportamento, tiveram que se forçar a acreditar que ele realmente existia no mundo real.

A primeira pessoa que incorporou com sucesso a relatividade à mecânica quântica foi o brilhante e lacônico físico teórico britânico Paul Dirac, que já desempenhara um papel de liderança no desenvolvimento da mecânica quântica como uma teoria.

A mecânica quântica foi desenvolvida entre 1912 e 1927, por meio do trabalho do brilhante e icônico físico dinamarquês Neils Bohr e de dois jovens físicos notáveis, o austríaco Erwin Schrödinger e o alemão Werner Heisenberg. O mundo quântico proposto inicialmente por Bohr e redefinido matematicamente por Schrödinger e Heisenberg desafia todas as noções comuns baseadas em experiências com objetos em escala humana. Bohr propôs inicialmente que elétrons em átomos orbitam em torno do núcleo, como os planetas ao redor do Sol, mas demonstrou que as regras dos espectros atômicos observadas (as frequências da luz emitida por elementos distintos) só poderiam ser entendidas se de alguma forma os elétrons estivessem restritos a órbitas estáveis em um conjunto fixo de "níveis quânticos" e não pudessem espiralar livremente em direção ao núcleo. Eles poderiam se deslocar entre os níveis absorvendo ou emitindo apenas frequências discretas, ou quânticas, de luz — as mesmas quânticas que Max Planck propusera em 1905 como modo de entender as formas de radiação emitidas por objetos quentes.

As "regras de quantização" de Bohr eram bastante *ad hoc*, no entanto. Nos anos 1920, Schrödinger e Heisenberg demonstraram de forma independente que era possível deduzir essas regras se os elétrons obedecessem a regras de dinâmica diferentes das aplicadas a objetos macroscópicos como bolas de beisebol. Os elétrons poderiam se comportar tanto como ondas quanto como partículas, parecendo espalhar-se pelo espaço (daí a "função de onda" dos elétrons de Schrödinger). Também foi demonstrado que os resultados das

medições das propriedades dos elétrons produziram apenas determinações probabilísticas, sendo que várias combinações de propriedades distintas não eram exatamente mensuráveis ao mesmo tempo (daí o "Princípio da Incerteza", de Heisenberg).

Dirac demonstrara que a matemática proposta por Heisenberg para descrever sistemas quânticos (pela qual o alemão ganhou o prêmio Nobel de 1932) poderia ser derivada por meio de analogia cuidadosa com as leis bem conhecidas que governam a dinâmica de objetos macroscópicos clássicos. Além disso, mais tarde, ele também conseguiu demonstrar que a matemática da "mecânica de ondas" de Schrödinger também poderia ser derivada e era formalmente equivalente à formulação de Heisenberg. Porém, Dirac também sabia que a mecânica quântica de Bohr, Heisenberg e Schrödinger, por mais notável que fosse, se aplicava somente a sistemas em que as leis de Newton, e não a relatividade de Einstein, seriam adequadas para reger os sistemas clássicos com os quais os sistemas quânticos haviam sido construídos por analogia.

Dirac gostava de pensar em termos de matemática em vez de imagens, e, ao tentar fazer com que a mecânica quântica fosse compatível com as leis da relatividade de Einstein, começou a brincar com muitos tipos diferentes de equações. Elas incluíam sistemas matemáticos multicomponentes complicados, necessários para incorporar a ideia de "rotação" dos elétrons, ou seja, de que elas giram como pequenos peões e têm momento angular, podendo também girar tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário em torno de qualquer eixo.

Em 1929, o britânico descobriu algo valioso. A equação de Schrödinger descrevera com beleza e exatidão o comportamento de elétrons que se movimentavam em velocidades muito menores que a da luz. Dirac descobriu que, se a transformasse em uma equação mais complexa, usando objetos chamados de matrizes — o que, na verdade, descreveu um conjunto de quatro diferentes equações unidas —, poderia unificar de forma consistente a mecânica quântica e a relatividade, e assim, em princípio, descrever o comportamento de sistemas em que elétrons se moveriam a velocidades muito mais rápidas.

Havia um problema, entretanto. Dirac escrevera uma equação para demonstrar o comportamento de elétrons quando interagiam com campos elétricos e magnéticos. Mas sua equação pareceu também requerer a existência de partículas novas, da mesma espécie dos elétrons, mas com carga elétrica oposta.

Na época, havia apenas uma partícula elementar conhecida na natureza com carga oposta à do elétron: o próton. Mas os prótons são bem diferentes dos elétrons. Para começo de conversa, eles são 2 mil vezes mais pesados!

Dirac ficou confuso. Em um ato de desespero, argumentou que as partículas novas eram, na verdade, os prótons, mas que, de alguma forma, quando se moviam no espaço, suas interações os faziam agir como se fossem pesados. Não demorou muito para que outros físicos, incluindo Heisenberg, mostrassem que essa sugestão não fazia sentido.

A natureza logo veio resgatá-la. Dois anos após Dirac propor sua equação e um ano após ele ter acatado e aceitado que, caso seu trabalho estivesse certo, uma partícula nova tinha que existir, pesquisadores que estudavam raios cósmicos que bombardeavam a Terra descobriram evidências de partículas novas, idênticas a elétrons, mas com carga elétrica oposta: os pósitrons.

Dirac encontrou apoio, mas também reconheceu a falta de confiança na própria teoria ao dizer mais tarde que sua equação era mais inteligente que ele mesmo.

Hoje, chamamos o pósitron de "antipartícula" do elétron porque a teoria de Dirac tornou-se universal. A mesma física que exigia uma antipartícula para o elétron exige uma antipartícula para toda partícula elementar da natureza. Os prótons têm antiprótons, por exemplo. Mesmo as neutras, como os nêutrons, têm antipartículas. Quando partículas e antipartículas se encontram, elas se aniquilam em radiação pura.

Embora isso tudo possa parecer ficção científica (e, de fato, a antimatéria tem um papel importante em *Jornada nas estrelas*), criamos antipartículas o tempo todo em grandes aceleradores de partículas. Como as antipartículas têm as mesmas propriedades das partículas, um mundo feito de antimatéria teria o mesmo comportamento de um mundo feito de matéria, com antiamantes em anticarros fazendo antiamor sob uma antilua. É quase um acidente circunstancial, devido a fatores mais profundos que discutiremos

mais adiante, o fato de vivermos em um Universo feito de matéria e não de antimatéria, ou com a mesma quantidade de ambos. Gosto de dizer que embora a antimatéria possa parecer estranha, é tão estranha quanto os belgas. Não que eles sejam de fato estranhos, mas é que raramente os encontramos!

A existência de antipartículas faz do mundo observável um lugar muito mais interessante, mas também faz do espaço vazio algo muito mais complicado.

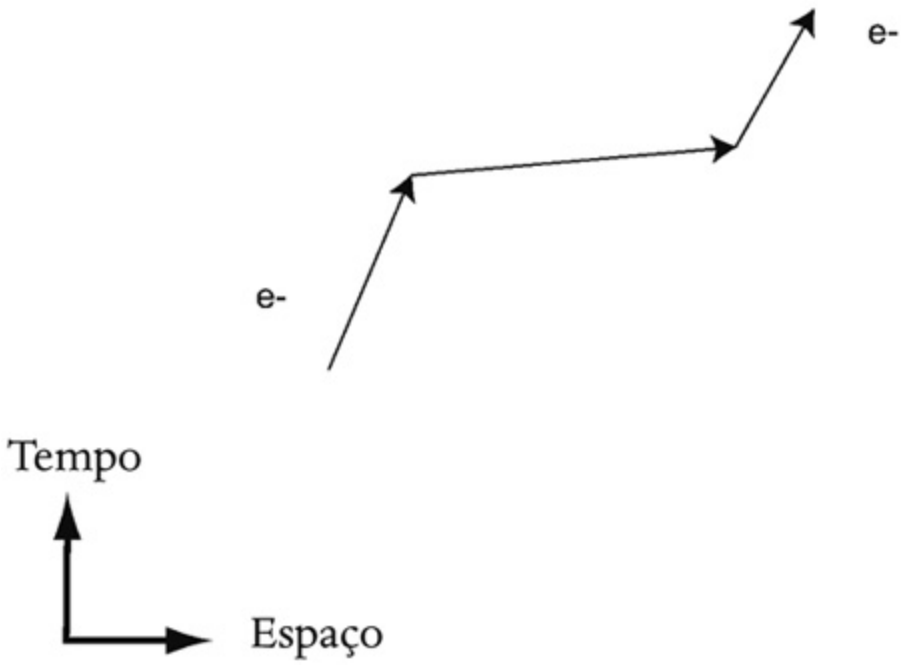
O lendário físico Richard Feynman foi a primeira pessoa a desenvolver uma compreensão intuitiva do porquê da relatividade exigir a existência de antipartículas, o que também gerou uma demonstração gráfica de que o espaço vazio não é assim tão vazio.

Para Feynman, a relatividade comprova que observadores que se movimentam a velocidades diferentes farão medições diferentes de grandezas como distância e tempo. Por exemplo, o tempo parecerá passar mais devagar para objetos que se movimentam muito rápido. Se de alguma forma os objetos pudessem viajar numa velocidade mais rápida que a da luz, pareceriam voltar no tempo, um dos motivos por que a velocidade da luz é considerada um limite de velocidade cósmico.

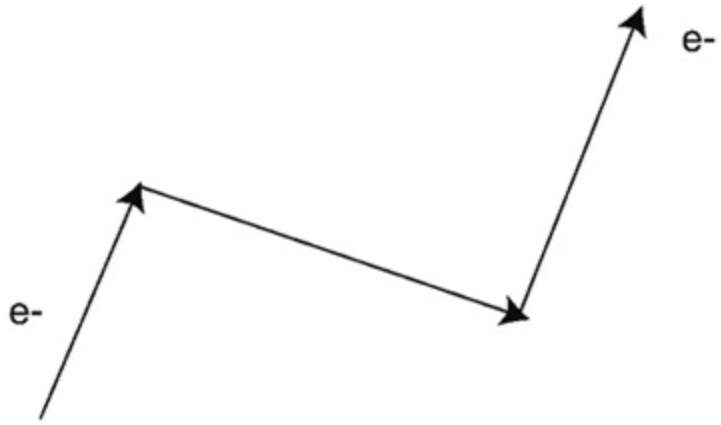
Um princípio fundamental da mecânica quântica, no entanto, é o Princípio da Incerteza de Heisenberg, que afirma ser impossível determinar, para certos pares de quantidades, como posição e velocidade, valores exatos para um dado sistema ao mesmo tempo. Por outro lado, se medirmos dado sistema apenas para um intervalo de tempo finito e fixo, não poderemos determinar sua energia total com exatidão.

Tudo isso implica que, para intervalos curtos de tempo — tão curtos que fica impossível medir sua velocidade com precisão —, a mecânica quântica permite que essas partículas ajam como se estivessem se movimentando mais rapidamente que a luz! Mas, se isso for verdade, Einstein afirma que elas devem se comportar como se estivessem voltando no tempo!

Feynman foi muito corajoso ao levar a sério essa possibilidade aparentemente louca e explorar suas implicações. Ele desenhou o seguinte diagrama para um elétron em movimento, aumentando a aceleração ao longo de sua trajetória até ultrapassar a da luz.

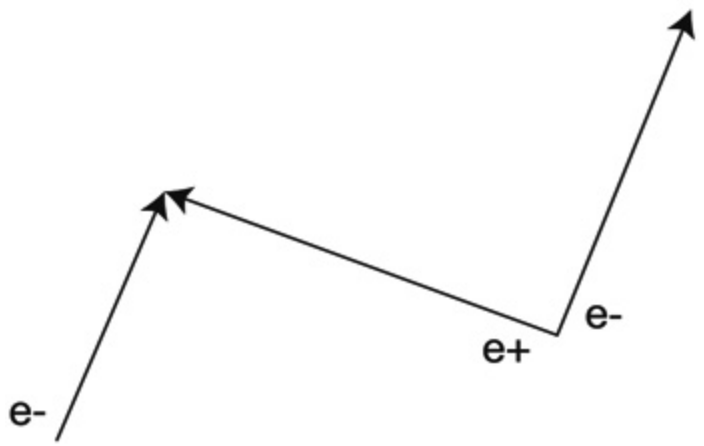


Ele reconheceu que a relatividade afirmaria que outro observador poderia medir algo que pareceria como o mostrado a seguir, com um elétron avançando no tempo, regredindo e avançando novamente.

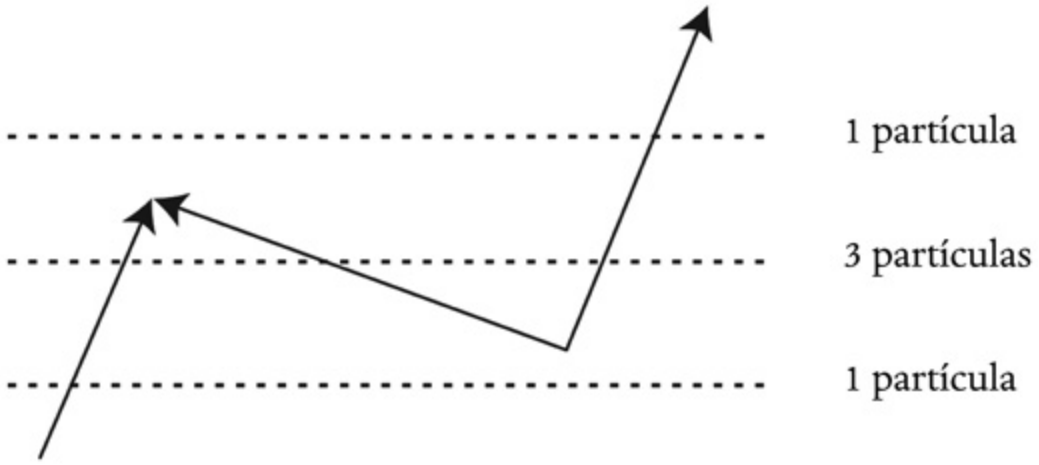


Contudo, uma carga negativa que regride no tempo é matematicamente equivalente a uma carga positiva que avança no tempo! Então, a relatividade exigiria a existência de partículas positivamente carregadas com igual massa e diferentes propriedades das dos elétrons.

Nesse caso, o segundo desenho de Feynman tem outra interpretação: um único elétron está em movimento, e, em outro ponto no espaço, um par pósitron-elétron é criado a partir do nada; então, o pósitron encontra o primeiro elétron e os dois se aniquilam. Depois disso, apenas um elétron entra em movimento:



Se isso não incomoda você, então considere o seguinte: por um curto tempo, mesmo que se comece com apenas uma única partícula e se termine com uma única partícula, há três partículas em movimento:



Nesse breve meio-tempo, por um segundinho, algo surgiu do nada! Feynman descreveu esse aparente paradoxo no trabalho "Uma teoria de pósitrons", em 1949, com uma agradável analogia à guerra:

> É como se um artilheiro olhasse para uma única estrada pela mira de um bombardeiro voando baixo e de repente visse três estradas, e só quando duas delas se unissem e desaparecessem novamente ele percebesse que apenas sobrevoou uma curva fechada de uma única estrada.

Contanto que esse período de tempo durante a "curva fechada" seja tão curto que seja impossível medir todas as partículas, a mecânica quântica e a relatividade pressupõem que essa situação estranha não só é permitida, como exigida. As partículas que aparecem e desaparecem nas curtas escalas de tempo para serem medidas são chamadas de partículas *virtuais*.

Inventar todo um conjunto novo de partículas no espaço vazio impossível de medir é o mesmo que pedir que vários anjos se sentem na cabeça de um alfinete. Seria ineficaz se essas partículas não tivessem outros efeitos mensuráveis. Contudo, embora não sejam diretamente observáveis, seus efeitos *indiretos* produzem grande parte das características que vivenciamos hoje. E não é só isso. Também é possível calcular o impacto dessas partículas com mais precisão do que qualquer outra coisa na ciência.

Considere, por exemplo, um átomo de hidrogênio — o sistema que Bohr tentou explicar desenvolvendo sua teoria quântica e Schrödinger mais tarde tentou descrever por meio de sua famosa equação. A beleza da mecânica quântica jaz em sua capacidade de explicar as cores específicas da luz emitida pelo hidrogênio quando ele é aquecido, sob o argumento de que elétrons orbitando em volta do próton poderiam existir apenas em baixos níveis de energia e, quando pulassem de nível em nível, absorveriam ou emitiriam apenas um conjunto fixo de frequências de luz. A equação de Schrödinger permite o cálculo das frequências previstas e dá a resposta quase precisa.

Mas não exatamente.

Quando o espectro de hidrogênio foi observado com mais cuidado, percebeu-se que a coisa era mais complicada, com algumas pequenas quebras adicionais entre níveis, chamadas "estrutura fina" do espectro. Embora as quebras sejam conhecidas desde o tempo de Bohr — e houvesse a suspeita de

que talvez efeitos relativistas tivessem algo a ver com elas —, enquanto uma teoria da Relatividade não estivesse disponível, não seria possível confirmar essa suspeita. Felizmente, a equação de Dirac melhorou as previsões se comparada à de Schrödinger, e reproduziu a estrutura geral das observações, incluindo a estrutura fina.

Até aí tudo bem, mas em abril de 1947, o pesquisador norte-americano Willis Lamb e seu aluno Richard C. Retherford fizeram um experimento que poderia parecer incrivelmente mal-intencionado. Os dois perceberam que tinham um recurso tecnológico favorável para medir a estrutura do nível de energia de átomos de hidrogênio com uma precisão de uma parte em 100 milhões.

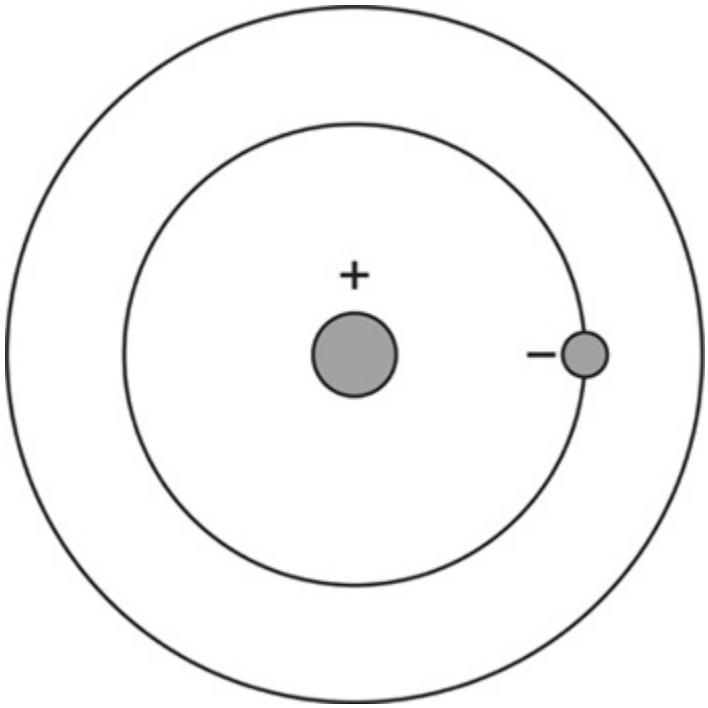
Por que fariam isso? Bem, o desenvolvimento de um novo método de medição mais preciso é motivação suficiente para que os pesquisadores sigam em frente. Novos mundos inteiros são frequentemente revelados no processo — como quando, em 1676, o cientista holandês Antonie Philips van Leeuwenhoek olhou pela primeira vez uma gota de água aparentemente vazia com um microscópio e descobriu que era cheia de vida. Nesse caso, no entanto, os pesquisadores tinham uma motivação mais imediata. Até o experimento de Lamb, a precisão disponível não podia testar completamente a previsão de Dirac.

A equação de Dirac produziu a estrutura geral das novas observações, mas a questão central para Lamb era se ela conseguia prever essa configuração detalhadamente. Essa era a única forma de testar a teoria. E, quando Lamb o fez, ela pareceu dar a resposta errada, a um nível de cerca de cem partes por bilhão, muito acima da sensibilidade de seu aparato.

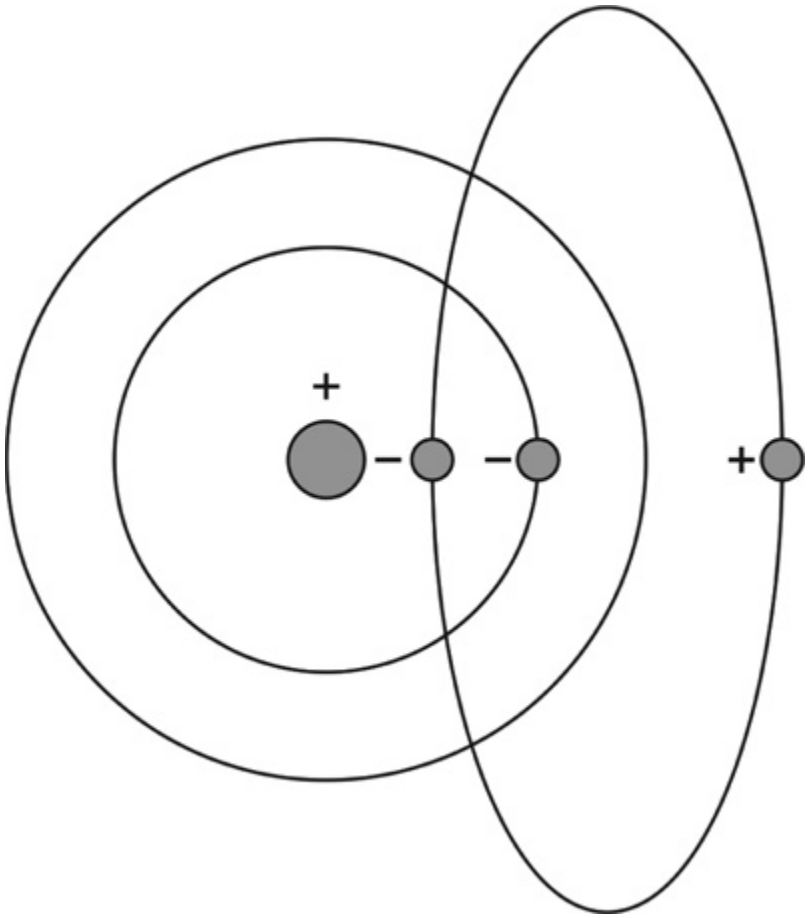
A pequena discordância com o experimento pode não parecer grande coisa, mas as previsões mais simples da teoria de Dirac se mostraram irresolutas, assim como o experimento, e houve divergência.

Durante os anos seguintes, as mais brilhantes mentes teóricas da física entraram na briga e tentaram resolver a discrepância. A resposta veio depois de muito trabalho, e, quando a poeira tinha baixado, percebeu-se que a equação de Dirac dava a resposta precisa, caso fosse incluído o efeito das partículas virtuais. Para compreender melhor, veja a explicação a seguir. Átomos de hidrogênio geralmente são retratados em livros de química mais

ou menos assim, com um próton no centro e um elétron orbitando ao redor dele, saltando entre os diferentes níveis:



Contudo, uma vez que os pares pósitron-elétron aparecem espontaneamente do nada por um curto espaço de tempo antes de se aniquilarem, o átomo de hidrogênio se parece com a imagem a seguir durante o mesmo curto período de tempo:



À direita está o par, que se aniquila na parte superior. O elétron virtual, negativamente carregado, gosta de ficar mais próximo do próton, enquanto o pósitron costuma ficar mais longe. De qualquer forma, a imagem deixa claro que a distribuição de carga real de um átomo de hidrogênio *não* é, em qualquer instante, descrita simplesmente por um único elétron e um único próton.

Extraordinariamente, nós, físicos, aprendemos (depois de todo o trabalho duro de Feynman e outros) que podemos usar a equação de Dirac para calcular com precisão o impacto no espectro de hidrogênio de todas as partículas virtuais possíveis que podem existir de forma intermitente ao seu redor. E quando fazemos isso, temos *a melhor e mais precisa previsão de toda a ciência*. Todas as outras previsões científicas empalidecem quando comparadas a ela. Em astronomia, as observações mais recentes da radiação cósmica de fundo em micro-ondas nos permitem fazer comparações com previsões

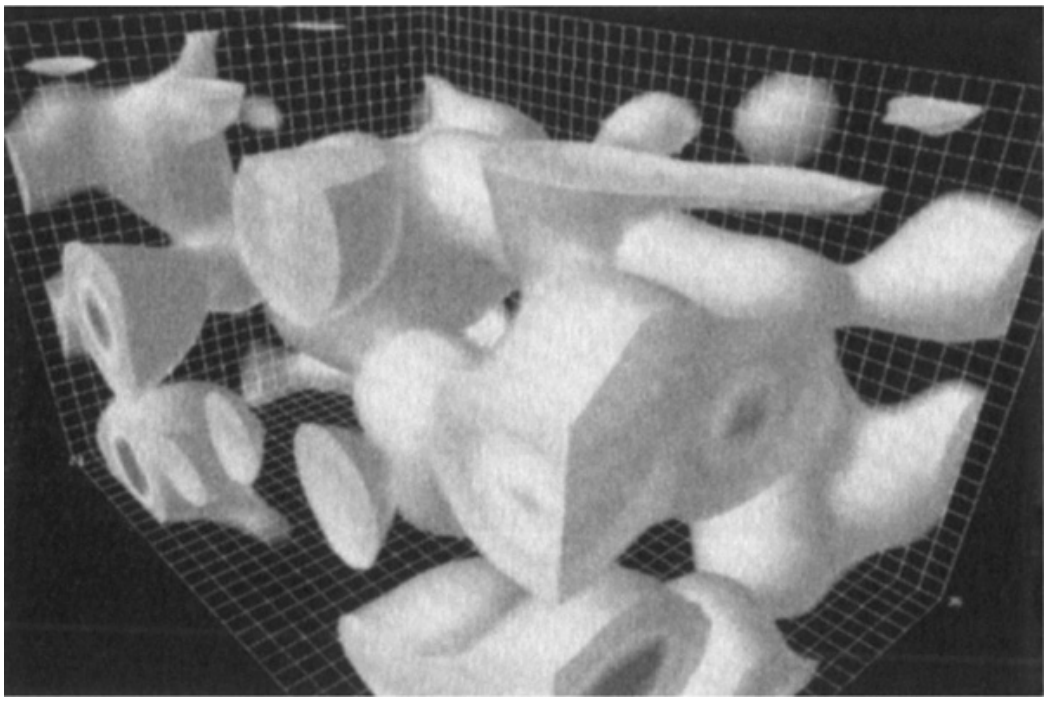
teóricas a um nível de talvez uma parte em 100 mil, o que é impressionante. No entanto, com a equação de Dirac e a existência prevista de partículas virtuais podemos calcular o valor de parâmetros atômicos e compará-los com observações, obtendo coincidência notável a um nível de uma parte em 1 bilhão ou mais que isso.

Partículas virtuais existem, então.

Embora a espetacular precisão disponível em física atômica seja difícil de se combinar, há, no entanto, outro lugar onde partículas virtuais têm um papel-chave que pode, na verdade, ser mais relevante à questão central deste livro: elas são responsáveis por grande parte da sua massa, leitor, e de tudo visível no Universo.

Um dos grandes sucessos dos anos 1970 em nossa compreensão fundamental da matéria veio com a descoberta de uma teoria que descreve com precisão as interações entre os quarks, as partículas que constituem os prótons e nêutrons que formam a maior parte da matéria com a qual você, e tudo o que você vê, é feito. A matemática associada à teoria é complexa, e muitas décadas se passaram até que fossem desenvolvidas técnicas que pudessem lidar com ela, principalmente no regime em que a interação forte entre os quarks se tornou apreciável. Um esforço hercúleo foi realizado, inclusive a construção de computadores supercomplicados, que utilizam simultaneamente dezenas de milhares de processadores individuais, para calcular as propriedades fundamentais de prótons e nêutrons, as partículas que medimos.

Depois de todo esse trabalho, agora temos uma boa imagem de como realmente se parece o interior de um próton. Ele pode conter três quarks, além de muitas outras coisas — em especial, partículas virtuais que refletem as partículas e os campos transmissores de força entre quarks surgindo e desaparecendo o tempo todo. Aqui está uma imagem de como as coisas são. Não é uma foto, é claro, mas uma representação artística da matemática que rege a dinâmica dos quarks e dos campos que os ligam. As formas ímpares e os matizes diferentes refletem a força dos campos interagindo uns com os outros e com os quarks dentro do próton, enquanto partículas virtuais surgem e desaparecem espontaneamente.



O próton está sempre cheio dessas partículas virtuais, e, na verdade, quando tentamos estimar quanto elas podem contribuir para sua massa, descobrimos que os quarks fornecem muito pouco da massa total, e que os campos criados por essas partículas contribuem com a maior parte da energia que vai para a energia de repouso de próton e, por conseguinte, para sua massa de repouso. O mesmo acontece com o nêutron, e como você é feito de prótons e nêutrons, para você!

Então, se podemos calcular os efeitos de partículas virtuais no espaço que acreditávamos ser vazio dentro e em volta dos átomos e os efeitos de partículas virtuais no espaço que acreditávamos ser vazio dentro dos prótons, não conseguiríamos calcular os efeitos de partículas virtuais no espaço verdadeiramente vazio?

Bem, esse cálculo é, na verdade, muito mais difícil. Isso porque, quando calculamos o efeito de partículas virtuais em átomos ou na massa do próton, estamos, na verdade, calculando a energia total do átomo ou do próton *incluindo* partículas virtuais; em seguida, calculamos a energia total com que as partículas virtuais contribuiriam sem a presença do átomo ou do próton (por exemplo, no espaço vazio); só *então* subtraímos os dois números para encontrar o impacto líquido no átomo ou no próton. Fazemos tudo isso

porque cada uma dessas duas energias é formalmente infinita quando tentamos resolver as equações devidas, mas, quando subtraímos as duas quantidades, ficamos com uma diferença finita, aliás, mais que isso, uma diferença que concorda com o valor medido com precisão.

No entanto, se quisermos calcular o efeito de partículas virtuais apenas no espaço vazio, não teremos nada para subtrair, e a resposta obtida será, então, infinita.

Mas a infinidade não é uma quantidade agradável, pelo menos para os físicos, e tentamos evitá-la sempre que possível. De fato, a energia do espaço vazio (ou de qualquer outra coisa) não pode ser fisicamente infinita, então precisamos calcular de forma a obter uma resposta finita.

A fonte da infinidade é fácil de descrever. Quando consideramos todas as partículas virtuais possíveis que podem aparecer, o Princípio da Incerteza de Heisenberg (que postula que a incerteza na energia medida de um sistema é inversamente proporcional à quantidade de tempo durante o qual o observamos) implica que partículas cada vez mais carregadas de energia podem aparecer espontaneamente do nada, contanto que desapareçam depois de um intervalo de tempo ainda menor. Em princípio, partículas podem, então, carregar energia quase infinita, contanto que desapareçam em intervalos de tempo infinitamente curtos.

Porém, as leis da física aplicam-se apenas a distâncias e tempos maiores que certo valor, correspondendo à escala em que os efeitos da mecânica quântica devem ser considerados quando se tenta entender a gravidade (e seus efeitos associados no espaço-tempo). Até termos uma teoria de "gravidade quântica", como ela é chamada, não podemos confiar em extrapolações.

Assim, podemos esperar que a nova física, associada à gravidade quântica, corte de alguma forma os efeitos de partículas virtuais que vivem por um tempo menor que o "tempo de Planck", como é chamado. Se considerarmos os efeitos acumulativos de partículas de energia apenas virtuais iguais ou menores que o permitido por esse corte temporal, chegamos a uma estimativa finita para a energia em que partículas virtuais contribuem para o nada.

Mas há um problema. Acontece que a estimativa é cerca de 1.000.000.000

000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 vezes maior que a energia associada a toda matéria conhecida do Universo, incluindo a matéria escura!

Se o cálculo dos espaçamentos dos níveis atômicos de energia, incluindo partículas virtuais, é a melhor computação de toda a física, essa estimativa do espaço energético — 120 ordens de grandeza maior que a energia de qualquer outra coisa no Universo — é sem dúvida a pior! Se a energia do espaço vazio estivesse próxima a esse tamanho, a força repulsiva induzida (lembre-se de que a energia do espaço vazio corresponde a uma constante cosmológica) não seria grande o suficiente para explodir a Terra hoje, mas teria sido tão grande em tempos mais remotos que tudo teria sido separado tão rápido na primeira fração de segundo do Big Bang que nenhuma estrutura, nenhuma estrela, nenhum planeta e nenhuma pessoa teriam sido formados.

Esse problema, chamado Problema da Constante Cosmológica, existe desde muito antes de eu entrar na pós-graduação — explicitado pela primeira vez pelo cosmólogo russo Yakov Zel'dovich por volta de 1967. Não foi resolvido até hoje e talvez seja o problema mais profundo da física atual.

Apesar de não termos ideia de como resolvê-lo mesmo após quarenta anos, nós, físicos teóricos, sabemos qual deve ser a resposta. Assim como um aluno do quinto ano acertaria que a energia do espaço vazio tinha que ser zero, nós também sentíamos que, quando uma teoria definitiva fosse deduzida, ela explicaria como os efeitos de partículas virtuais seriam cancelados, deixando o espaço vazio com precisamente zero de energia. Ou nada. Ou melhor, Nada.

Nosso raciocínio tinha mais fundamento, ou era o que pensávamos. Precisávamos reduzir a magnitude da energia do espaço vazio do valor gigantesco estimado ingenuamente para um valor consistente com os limites mais altos permitidos pela observação. Então, precisaríamos de alguma maneira subtrair um número negativo muito grande de um número positivo muito grande para que os dois se cancelassem em 120 casas decimais, deixando algo diferente de zero na 121ª casa decimal! Mas não há precedente na ciência para cancelar dois números grandes com tamanha precisão, deixando apenas algo minúsculo de resto.

No entanto, zero é um número fácil de produzir. Simetrias da natureza permitem demonstrar contribuições precisamente iguais e opostas vindas de

partes diversas de um cálculo, cancelando-se com exatidão, deixando precisamente nenhum resto. Ou, de novo, Nada.

Assim, nós, teóricos, fomos capazes de descansar e dormir à noite. Não sabíamos como chegar lá, mas sabíamos qual deveria ser a resposta final.

A natureza, entretanto, tinha algo diferente em mente.

5

UNIVERSO EM FUGA

É simplesmente desperdício pensar hoje sobre a origem da vida;
deveríamos pensar sobre a origem da matéria.

Charles Darwin, 1863

O QUE EU E MICHAEL TURNER propomos em 1995 era herege ao extremo. Baseados em pouco mais do que preconceito teórico, supomos que o Universo era plano. (Devo ressaltar aqui, mais uma vez, que um Universo tridimensional "plano" não é plano como uma panqueca bidimensional, mas, sim, como o Universo tridimensional que imaginamos intuitivamente, no qual os raios de luz se propagam em linhas retas. Isso deve ser contrastado com os espaços tridimensionais curvos, muito mais difíceis de se imaginar, nos quais os raios de luz, que traçam a curvatura subjacente do espaço, não se propagam em linhas retas.) Então, deduzimos que todos os dados cosmológicos disponíveis na época seriam consistentes com um Universo plano caso cerca de 30% da energia total estivessem em alguma forma de "matéria escura", que parecia existir ao redor de galáxias e aglomerados; mas, muito mais estranho que isso, deduzimos que os 70% da energia total do Universo restantes estavam não em qualquer forma de matéria, mas no próprio espaço vazio.

Nossa ideia era maluca segundo quaisquer padrões. Para obtermos um valor para a constante cosmológica que concordasse com nossa pretensão, o valor estimado para essa quantidade, como descrito no último capítulo, teria de ser reduzido de alguma forma em 120 ordens de grandeza, e ainda assim

não seria precisamente zero. Isso envolveria a sintonia mais severa de toda quantidade física conhecida na natureza, sem a menor ideia de como ajustá-la.

Esse era um dos motivos pelos quais, quando dava palestras em várias universidades sobre o dilema de um Universo plano, as pessoas apenas sorriam e nada mais. Não acredito que muitas pessoas tenham levado nossa proposta a sério e nem mesmo tenho certeza se Turner e eu a levávamos. Nosso objetivo ao fazer as pessoas levantarem as sobrancelhas era ilustrar geograficamente um fato que começava a despontar não só para nós, mas para muitos colegas teóricos ao redor do mundo: algo parecia estar errado com a imagem "padrão" do Universo, na qual se supunha que a maior parte de toda a energia exigida pela relatividade para produzir um Universo plano hoje estava na matéria escura exótica (com uma pitada de bárions — por exemplo, nós, terráqueos, as estrelas e as galáxias visíveis — para temperar a mistura).

Um colega lembrou recentemente que, nos dois anos seguintes, nossa modesta proposta foi referenciada apenas um punhado de vezes em trabalhos subsequentes, e em somente uma ou duas dessas referências não estavam em um estudo escrito por Turner ou por mim! Por mais complicado que o Universo seja, grande parte da comunidade científica acreditava que ele não poderia ser tão doido quanto nós sugeríamos.

A alternativa mais simples para contornar as contradições era a possibilidade de o Universo não ser plano, mas aberto (em que raios de luz paralelos se afastariam, caso seguíssemos suas trajetórias. Isso foi antes, é claro, de as medições de fundo cósmico de micro-ondas comprovarem que essa opção não era viável). No entanto, mesmo essa possibilidade encontrava problemas, embora a outra situação também estivesse longe de ser esclarecida.

Qualquer aluno de física do ensino médio dirá que a gravidade é uma força atrativa. E, claro, como tantas coisas na ciência, hoje reconhecemos que temos de expandir nossos horizontes porque a natureza é muito mais criativa. Se assumimos que a natureza atrativa da gravitação implica a desaceleração da expansão do Universo, obtemos um limite mais alto para sua idade ao admitir que a velocidade da galáxia localizada a certa distância de nós tem sido constante desde o Big Bang. Isso se deve ao fato de que, se a expansão vem desacelerando, a galáxia um dia afastou-se de nós com mais velocidade e, portanto, teria levado menos tempo para chegar à posição atual. No Universo

aberto dominado pela matéria, a desaceleração seria mais lenta do que em um Universo plano, e assim sua idade deduzida seria maior do que para um Universo plano dominado pela matéria, pela mesma taxa de expansão atual. Seria de fato muito mais próxima do valor que estimamos supondo uma taxa de expansão constante no decorrer do tempo cósmico.

Lembre-se de que uma energia de espaço vazio diferente de zero produziria uma constante cosmológica — como uma repulsão gravitacional —, implicando a expansão do Universo no decorrer do tempo cósmico. Assim, as galáxias se afastariam antes mais lentamente do que hoje. Ou seja, teria levado ainda mais tempo para que chegassem à sua distância atual do que em uma expansão constante. De fato, para dada medição da constante de Hubble hoje, o maior tempo de vida do Universo (mais ou menos 20 bilhões de anos) é obtido a partir da inclusão da possibilidade de uma constante cosmológica e da densidade da matéria no Universo hoje.

Em 1996, trabalhei com Brian Chaboyer, com a colaboração de Pierre Demarque, da Universidade de Yale, e o pós-doutor Peter Kernan, da Case Western Reserve, a fim de colocar um limite mais baixo na idade dessas estrelas, aproximadamente 12 bilhões de anos. Esboçamos a evolução de milhões de estrelas em computadores de alta velocidade e comparamos suas cores e seu brilho com os de estrelas reais observadas em aglomerados globulares em nossa galáxia, que havia muito se pensava que estivessem entre os objetos mais antigos da Via Láctea. Supondo cerca de 1 bilhão de anos para a formação de nossa galáxia, esse limite mais baixo descartava em definitivo um Universo plano dominado pela matéria e favorecia um com uma constante cosmológica (um dos fatores que pesavam sobre as conclusões de meu trabalho anterior com Turner), enquanto um Universo aberto oscilava ao largo da viabilidade.

No entanto, a idade das estrelas mais antigas envolvia inferências baseadas em observações aquém da sensibilidade corrente. Em 1997, novos dados observacionais nos obrigaram a revisar as estimativas para baixo, cerca de 2 bilhões de anos, levando a um Universo um pouco mais jovem. A situação ficou ainda mais sombria, e todas as três cosmologias pareciam viáveis novamente, mandando-nos de volta para os estudos.

Tudo isso mudou em 1998, curiosamente o mesmo ano em que o experimento BOOMERANG demonstrou que o Universo era plano.

Nos setenta anos seguintes à medição que Edwin Hubble fez da taxa de expansão do Universo, astrônomos trabalharam com cada vez mais afinco para definir seu valor. Nos anos 1990, eles tinham finalmente encontrado uma "vela-padrão" — ou seja, um objeto cuja luminosidade intrínseca os observadores poderiam verificar independentemente, para, quando medissem sua luminosidade aparente, então, inferir sua distância. A vela-padrão parecia confiável e podia ser observada através das profundezas do espaço e tempo.

Um tipo de estrela explosiva, chamado supernova tipo 1a, foi exibido para demonstrar a relação entre brilho e longevidade. Medir o tempo de brilho de uma supernova tipo 1a exigia, pela primeira vez, levar em consideração efeitos de dilatação do tempo decorrentes da expansão do Universo, ou seja, o tempo de vida de uma supernova é, na verdade, maior que seu tempo de vida em repouso. Mesmo assim, pudemos inferir o brilho absoluto e medir o brilho aparente com telescópios, além de, por fim, determinar sua distância em relação à galáxia hospedeira na qual a supernova havia explodido. Medir o desvio para o vermelho permitiu, ao mesmo tempo, que determinássemos a velocidade. A combinação dos dois permite a medição, com precisão cada vez maior, da taxa de expansão do Universo.

Por serem muito brilhantes, as supernovas não só proporcionam uma ótima ferramenta para medir a constante de Hubble, como também permitem a percepção de distâncias que são uma fração significativa da idade total do Universo.

Isso abriu caminho a uma possibilidade nova e animadora, que os observadores viram como uma presa muito mais interessante: medir a alteração da constante de Hubble através do tempo cósmico.

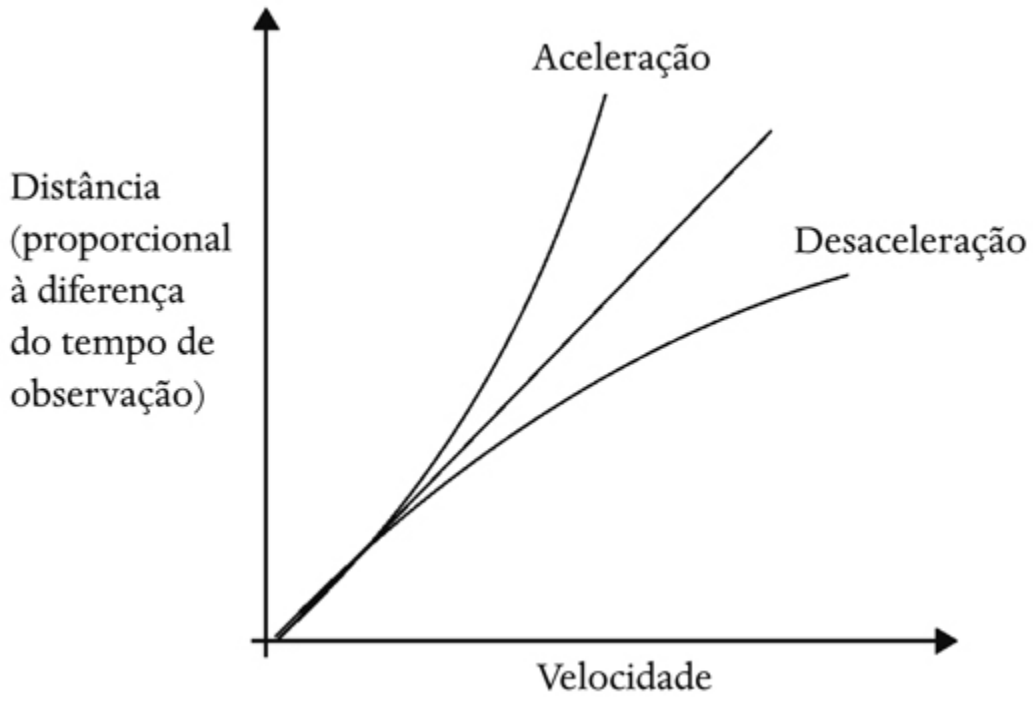
Medir a mudança de uma constante parece um paradoxo, e seria, a não ser pelo fato de nós, humanos, termos uma vida tão breve, pelo menos do ponto de vista cósmico. Em uma escala de tempo humana, a taxa de expansão do Universo é, de fato, constante. No entanto, como acabei de descrever, a taxa de expansão do Universo muda no decorrer do tempo cósmico de acordo com efeitos da gravitação.

Os astrônomos pensaram que, se pudessem medir a velocidade e a distância de supernovas muito distantes — além dos longínquos limites do Universo observável —, poderiam medir com que taxa a expansão do Universo estava desacelerando (uma vez que todos pensavam que este agia com sensatez e que a força gravitacional dominante era atrativa). Eles acreditavam, então, que isso revelaria se o Universo era aberto, fechado ou plano, porque a taxa de desaceleração como função do tempo é diferente para cada geometria.

Em 1996, fiz uma visita de seis semanas ao Laboratório Lawrence Berkeley, onde dei palestras sobre cosmologia e discuti vários projetos científicos com colegas. Apresentei, um dia, nossa afirmação de que o espaço vazio poderia ter energia. Depois, Saul Perlmutter, um jovem físico que estava trabalhando na detecção de supernovas distantes, veio a mim e disse: "Nós provaremos que você está errado!"

Saul estava se referindo ao seguinte aspecto de nossa sugestão de Universo plano: 70% de sua energia deveria estar contida no espaço vazio. Lembre-se de que tal energia produziria uma constante cosmológica, levando a uma força repulsiva que então existiria em todo o espaço e dominaria a expansão do Universo, fazendo com que sua expansão *acelerasse*, não desacelerasse.

Como expliquei, se a expansão do Universo estava acelerando ao longo do tempo cósmico, o Universo seria hoje mais velho do que inferimos antes, acreditando que a expansão estava desacelerando. Isso então implicaria que olhar para trás no tempo para galáxias com o dado desvio para o vermelho levaria mais tempo do que imaginávamos. Por sua vez, se elas estavam se afastando de nós há mais tempo, quer dizer que a luz que emitem adveio de mais longe. As supernovas em galáxias em determinado desvio para o vermelho calculado pareceriam, então, mais fracas para nós do que se a luz tivesse sua origem em um ponto mais próximo. Para ilustrar, caso estivéssemos medindo velocidade *versus* distância, o declive da curva para galáxias relativamente próximas permitiria que determinássemos a taxa de expansão hoje, e então a direção da curva para supernovas distantes nos diria se o Universo estava acelerando ou desacelerando no decorrer do tempo cósmico.



Dois anos depois de nosso encontro, Saul e seus colaboradores, parte de uma equipe internacional chamada Supernova Cosmology Project, publicaram um trabalho baseado em dados preliminares antigos que, de fato, sugeriam que estávamos errados. (Na verdade, não argumentaram sobre Turner e eu estarmos errados, pois, como a maioria dos outros observadores, não davam mesmo muito crédito a nossa proposta.) Seus dados sugeriram que a relação distância *versus* desvio para o vermelho curvava-se para baixo, que, então, um limite superior da energia do espaço vazio tinha de estar muito abaixo do que seria exigido para fazer uma contribuição significativa à energia total atual.

No entanto, como acontece com frequência, os primeiros dados obtidos podem não ser tão representativos — pode-se ser estatisticamente azarado, ou erros sistemáticos inesperados podem afetar os dados, e isso pode não se manifestar antes que se tenha uma amostra muito maior. Foi esse o caso dos dados que o Supernova Cosmology Project publicou, e, portanto, as conclusões estavam incorretas.

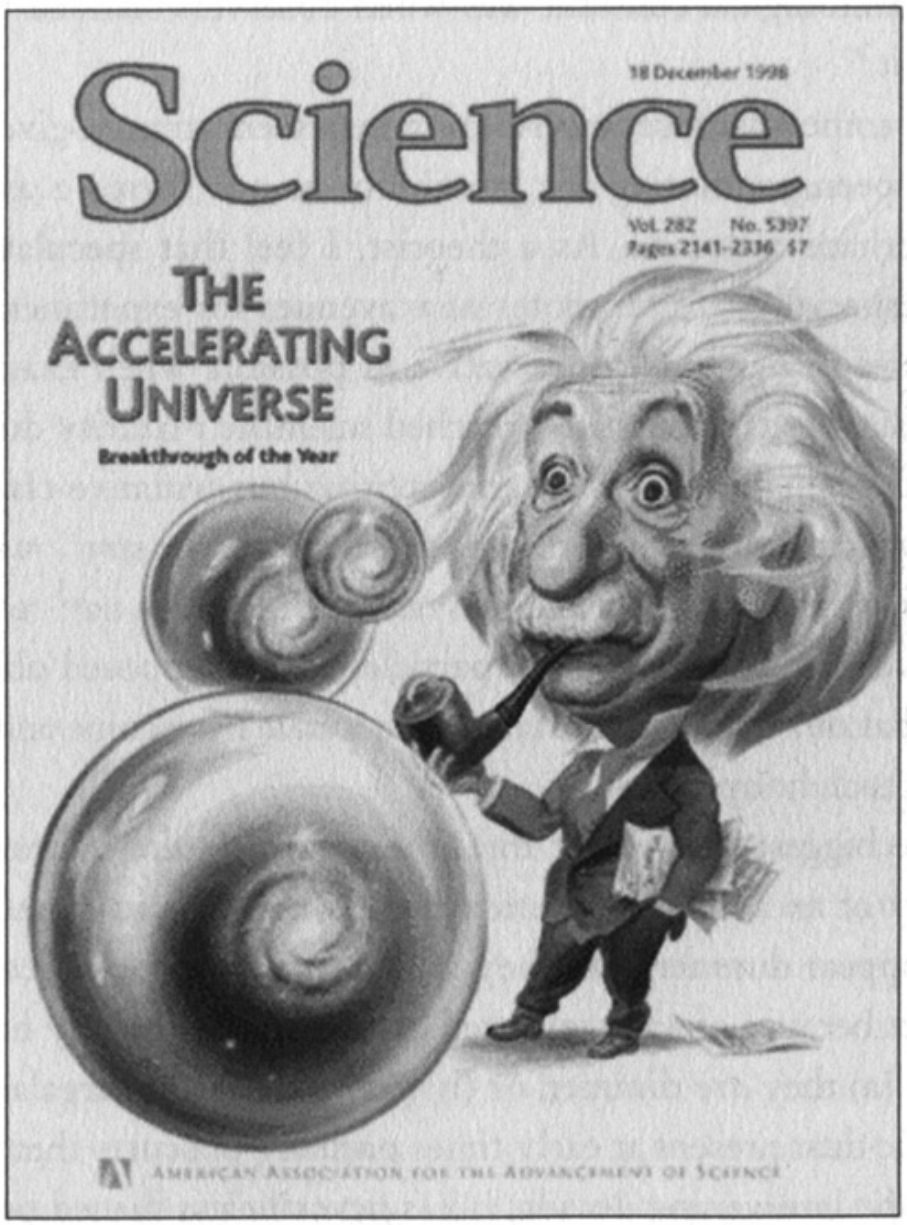
Outro projeto de pesquisa internacional, chamado High-Z Supernova Search Team, liderado por Brian Schmidt no Observatório de Monte Stromlo, na Austrália, realizava um programa com o mesmo objetivo, e eles começaram a obter resultados diferentes. Brian me contou que, quando

aconteceu a primeira determinação do projeto High-Z, sugerindo um Universo em aceleração com energia de vácuo significativa, eles foram informados por uma revista de que deviam estar errados, já que o Supernova Cosmology Project já tinha determinado que o Universo era, de fato, plano e dominado pela matéria.

A história detalhada da competição entre os dois grupos será repetida muitas vezes, principalmente depois que dividirem um prêmio Nobel, o que provavelmente acontecerá.* Mas não é o momento para se preocupar com prioridades. Basta dizer que no início de 1998, o grupo de Schmidt publicou um trabalho demonstrando que o Universo parecia estar acelerando. Cerca de seis meses depois, o grupo de Perlmutter anunciou resultados semelhantes e publicou um trabalho confirmando o resultado do High-Z Supernova e reconhecendo, com efeito, seu erro anterior — dando, assim, mais crédito a um Universo dominado pela energia do espaço vazio ou, como hoje é mais comumente chamada, energia escura.

A velocidade com que esses resultados foram adotados pela comunidade científica — ainda que exigissem uma revisão global de toda a imagem aceita do Universo — fornece um estudo interessante na sociologia da área. Quase da noite para o dia, pareceu haver uma aceitação universal dos resultados, embora, como Carl Sagan enfatizou, "afirmações extraordinárias exijam evidências extraordinárias". Essa certamente foi uma afirmação extraordinária, se um dia houve alguma.

Fiquei chocado quando, em dezembro de 1998, a revista *Science* chamou a descoberta do Universo em expansão de "avanço científico do ano", com uma capa impressionante com o desenho de um Einstein em choque.



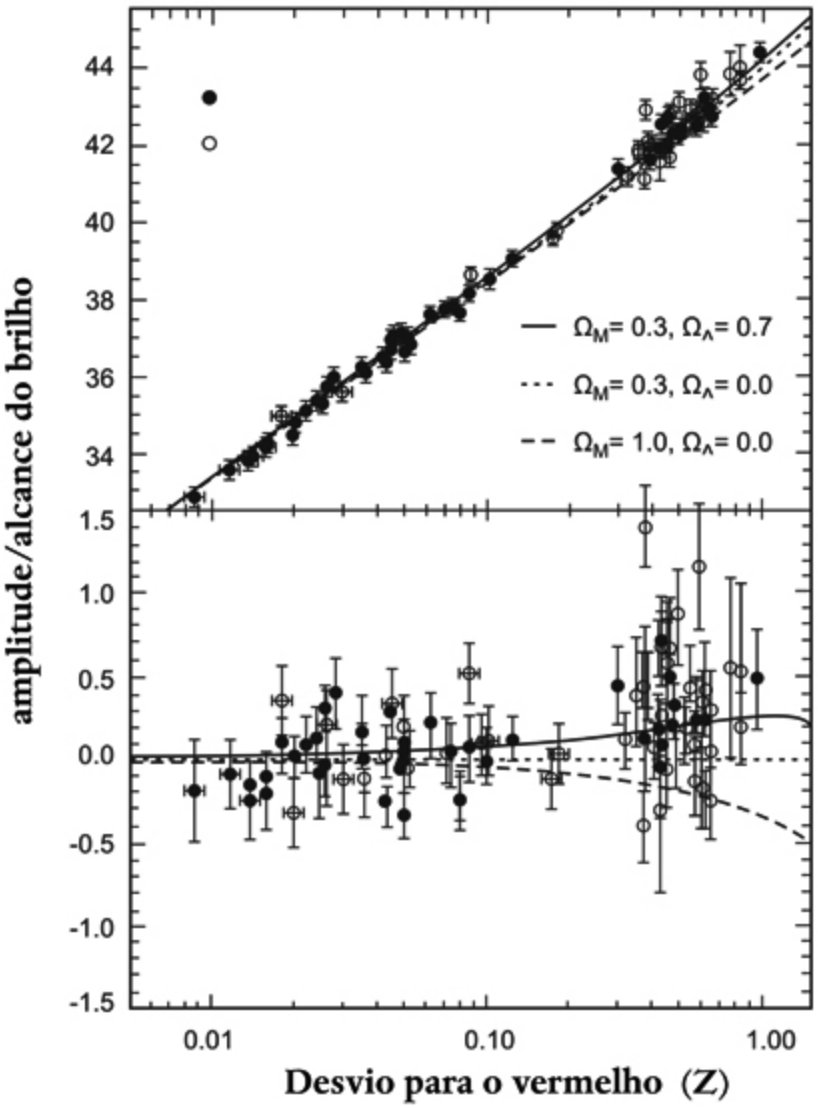
Não fiquei chocado pelo fato de o resultado não ser digno da capa. Ao contrário. Se fosse verdade, seria uma das descobertas astronômicas mais importantes de nosso tempo, mas os dados na época eram apenas muito sugestivos. Exigiam uma mudança tão grande da imagem que tínhamos do Universo que todos devíamos ter mais certeza de que outras causas possíveis para os efeitos observados podiam mesmo ser descartadas antes de entrarmos no trem da alegria da constante cosmológica. Como eu disse a um jornalista

na época: "A primeira vez em que não acreditei em uma constante cosmológica foi quando observadores afirmaram tê-la descoberto."

Minha reação um tanto brincalhona pode ter parecido estranha, dado o fato de que eu andava considerando a possibilidade de uma forma ou de outra havia talvez uma década. Como teórico, não vejo problema com a especulação, principalmente quando ela abre novos caminhos para experimentos. Mas acho que devo ser o mais conservador possível ao examinar dados reais, talvez por ter alcançado a maturidade científica quando diversas afirmativas novas e emocionantes, ainda que experimentais, acabaram se revelando ilegítimas em meu próprio campo de física de partículas. A descoberta de uma quinta força na natureza e de novas partículas elementares, ou a suposta observação de que o Universo gira como um todo, surgiram e desapareceram com muito estardalhaço.

A maior preocupação quanto à tão alegada descoberta de um Universo em aceleração era que supernovas distantes pudessem parecer mais escuras do que deveriam, não devido a uma expansão acelerada, mas apenas porque: (a) elas *são* mais escuras, ou (b) talvez uma poeira galáctica ou intergaláctica presente em tempos remotos as escurece parcialmente.

Na década seguinte, no entanto, descobriu-se que a chance de a aceleração existir era enorme, quase irrepreensível. Primeiro, foram medidas muitas outras supernovas com alto desvio para o vermelho. Então, uma análise combinada das supernovas dos dois grupos feita depois de um ano da publicação original resultou no seguinte gráfico:



Como um parâmetro, para ver se a curva distância/desvio para o vermelho está voltada para cima ou para baixo, os observadores desenharam uma linha reta pontilhada na metade superior do gráfico que parte do canto esquerdo inferior e chega ao direito superior e atravessa os dados que representam supernovas próximas. A inclinação dessa linha revela a taxa de expansão atual. Então, na metade inferior do gráfico, eles fizeram a mesma linha reta horizontal. Se o Universo estivesse desacelerando, como era esperado em 1998, as supernovas distantes em um desvio (Z) próximo a 1 estariam embaixo da linha. No entanto, como se pode ver, a maioria delas cai acima da linha reta.

Isso se deve a um dos seguintes fatores:

(1) os dados estão errados, ou

(2) a expansão do Universo *está* acelerando.

Se tomarmos, por ora, a segunda alternativa e se fizermos a seguinte pergunta "Quanta energia teríamos que colocar no espaço vazio para produzir a aceleração observada?", a resposta seria impressionante. A curva sólida, que melhor se encaixa aos dados, corresponde a um Universo plano, cujos 30% de energia seriam formados de matéria e 70% de espaço vazio. Ou seja, isso é exatamente o necessário para que um Universo plano seja consistente com o fato de que apenas 30% da massa exigida existem dentro e em volta de galáxias e aglomerados. Um aparente acordo foi alcançado.

No entanto, como a afirmação de que 99% do Universo são invisíveis — 1% de matéria visível integrado em um mar de matéria escura cercada de energia no espaço vazio — se encaixa na categoria extraordinária, devemos considerar o primeiro dos dois fatores mencionados: os dados estão incorretos. Na década seguinte, os dados da cosmologia continuaram a solidificar a imagem geral de um Universo plano no qual a energia dominante reside no espaço vazio, e tudo o que podemos ver representa menos de 1% da energia total, sendo o restante constituído de um ainda desconhecido tipo novo de partícula elementar.

Novos dados em evolução estelar foram desenvolvidos à medida que novos satélites forneciam informações sobre abundâncias de elementos em estrelas antigas. Com esses dados, meu colega Chaboyer e eu demonstramos, em 2005, que as incertezas nas estimativas da idade do Universo eram agora pequenas o suficiente para descartar tempos de vida mais jovens que 11 bilhões de anos. Isso era incoerente com qualquer Universo em cujo espaço vazio não houvesse energia. Novamente, como não temos certeza de que essa energia se deve a uma constante cosmológica, agora ela atende pelo nome mais simples de "energia escura", em analogia à "matéria escura" que domina galáxias.

A estimativa da idade de nossa galáxia ganhou mais exatidão em 2006, quando novas medidas da radiação cósmica de fundo em micro-ondas com o satélite WMAP permitiram que observadores medissem com precisão o

tempo desde o Big Bang. Agora sabemos a idade do Universo em quatro algarismos significativos: 13,72 bilhões de anos!

Nunca poderia imaginar que obteríamos a idade do Universo com tamanha precisão. Agora que aconteceu, podemos afirmar que não há como um Universo com a taxa de expansão medida hoje ter essa idade sem energia escura. Na verdade, a energia escura se comporta essencialmente como uma constante cosmológica. Em outras palavras, é a energia que parece se manter constante ao longo do tempo.

No grande avanço científico seguinte, observadores puderam medir com precisão como a matéria, na forma de galáxias, se agrupava ao longo do tempo cósmico. O resultado depende da taxa de expansão do Universo, uma vez que a força de atração entre as galáxias compete com a expansão cósmica que separa a matéria. Quanto maior o valor da energia do espaço vazio, mais cedo ela dominará a energia do Universo e mais cedo a taxa de expansão desacelerará e parará o colapso gravitacional da matéria em escalas cada vez maiores.

Ao medir os aglomerados gravitacionais, portanto, observadores confirmaram, mais uma vez, que o único Universo plano consistente com a estrutura em larga escala observada no Universo é o que tem aproximadamente 70% de energia escura, que, mais uma vez, se comporta como uma constante cosmológica.

Independentemente dessas provas indiretas sobre a história da expansão do Universo, observadores da supernova testaram inúmeras possibilidades que poderiam induzir a erros sistemáticos em suas análises — incluindo o fato de que mais poeira em grandes distâncias possa fazer com que as supernovas pareçam mais escuras — e descartaram-nas.

Um de seus testes mais importantes envolveu a busca no passado.

Antes na história do Universo, quando nossa região observável era muito menor em tamanho, a densidade da matéria era muito maior. No entanto, se a densidade da energia do espaço vazio deriva de uma constante cosmológica, ela é a mesma ao longo do tempo. Assim, quando o Universo tinha menos que a metade de seu tamanho atual, a densidade da energia da matéria teria excedido a densidade da energia do espaço vazio. Por todo o tempo antes

disso, a matéria, e não o espaço vazio, teria produzido a força gravitacional que age sobre a expansão. Assim, o Universo estaria desacelerando.

Na mecânica clássica há um nome para o momento em que um sistema muda sua aceleração e, em especial, passa de desacelerado para acelerado. É chamado de "arrancada". Em 2003, organizei uma conferência na universidade em que trabalho para examinar o futuro da cosmologia e convidei um dos membros pesquisadores do High-Z Supernova, Adam Reiss, que me dissera ter algo de animador para relatar na reunião. E tinha mesmo. No dia seguinte, o *New York Times*, que estava cobrindo a reunião, publicou uma foto de Adam acompanhada da manchete "Arrancada cósmica descoberta". Guardei essa foto e volto a ela para me divertir de vez em quando.

O mapeamento detalhado da história da expansão do Universo, demonstrando que ele passou de um período de desaceleração para um de aceleração, acrescentou peso substancial à afirmação de que observações originais, que indicavam a existência de matéria escura, estavam de fato corretas. Com todas as outras evidências disponíveis hoje, é muito difícil imaginar que, ao aderir a essa imagem, de alguma forma estamos sendo levados a uma busca inútil. Gostemos ou não, a energia escura parece estar aqui para ficar, ou pelo menos para ficar até que ela mesma mude de alguma forma.

A origem e a natureza da energia escura são, sem dúvida, o maior mistério da física fundamental hoje. Não compreendemos como ela se origina e por que alcança a quantidade que tem. Assim, não temos ideia de por que ela começou a dominar a expansão do Universo — e há pouco tempo, nos últimos 5 bilhões de anos —, ou se isso é só um acidente. É natural achar que sua natureza esteja ligada à origem do Universo. E todos os sinais sugerem que ela determinará o futuro dele também.

Nota

* Em 2011, Saul e Brian, junto com Adam Reiss, que fazia parte do projeto High-Z Supernova, ganharam o Nobel de Física por sua descoberta.

6

O almoço grátis no fim do Universo

O espaço é grande. Bem grande. Não dá para acreditar no quanto ele é desmesuradamente, inconcebivelmente, estonteantemente grande. Você pode achar que o caminho de sua casa até a farmácia é longo, mas isso não é nada em comparação com o espaço.

Douglas Adams, *O guia do mochileiro das galáxias*

Uma de duas não é ruim, suponho. Nós, cosmólogos, havíamos adivinhado corretamente, no fim das contas, que o Universo é plano, então não ficamos tão envergonhados com a chocante revelação de que o espaço vazio tem mesmo energia — o suficiente, na verdade, para dominar a expansão do Universo. A existência dessa energia não era plausível, mas ainda menos plausível era o fato de ela não ser suficiente para fazer com que o Universo fosse inabitável. Se a energia do espaço vazio fosse tão grande quanto as estimativas descritas anteriormente sugeriam, a taxa de expansão seria tão alta que tudo o que vemos agora no Universo seria levado rapidamente para além do horizonte. O Universo teria ficado frio, escuro e vazio muito antes de as estrelas, o Sol e a Terra terem se formado.

De todos os motivos para afirmar que o Universo é plano, talvez o mais simples de entender tenha surgido da noção de que ele era quase plano. Mesmo em tempos mais remotos, antes da descoberta da matéria escura, a quantidade conhecida de matéria visível no interior e ao redor das galáxias representava talvez 1% do total necessário para resultar em um Universo plano.

Agora, 1% pode não parecer muito, mas o Universo é muito antigo, tem bilhões de anos. Supondo que os efeitos gravitacionais da matéria ou da radiação dominem a expansão evolutiva — o que nós, físicos, sempre achamos ser o caso —, se o Universo não é exatamente plano, enquanto ele se expande, então fica cada vez mais distante de ser plano.

Se o Universo é aberto, a taxa de expansão se torna mais rápida do que seria para um Universo plano, separando cada vez mais matéria e reduzindo sua densidade líquida, além de produzir muito rapidamente uma fração infinitésima da densidade exigida para resultar em um Universo plano.

Se é fechado, a expansão é desacelerada, e o Universo entra em colapso. Nesse meio-tempo, primeiro a densidade diminui a uma taxa mais lenta do que em um Universo plano, e então, conforme entra novamente em colapso, ela começa a aumentar. Mais uma vez, o desvio da densidade esperada para um Universo plano aumenta com o tempo.

O Universo aumenta de tamanho a um fator de quase 1 trilhão desde seu primeiro segundo de existência. Se, no momento anterior, a densidade não fosse exatamente a de um Universo plano, mas fosse, digamos, um fator de 10 do ideal na época, então hoje a densidade diferiria da de um Universo plano em pelo menos um fator de 1 trilhão. É bem maior do que o fator de 100 conhecido por separar a densidade da matéria visível da que produziria um Universo plano hoje.

Esse problema era famoso, já nos anos 1970, e ficou conhecido como o Problema do Achatamento. Considerar a geometria do Universo é como imaginar um lápis balançando sobre sua ponta em cima de uma mesa. Ao menor desequilíbrio o lápis cai. O mesmo se dá para um Universo plano. O menor desvio do achatamento cresce rapidamente. Então, como o Universo poderia estar tão próximo de ser plano hoje se não fosse *exatamente* plano?

A resposta é simples: ele deve ser essencialmente plano hoje!

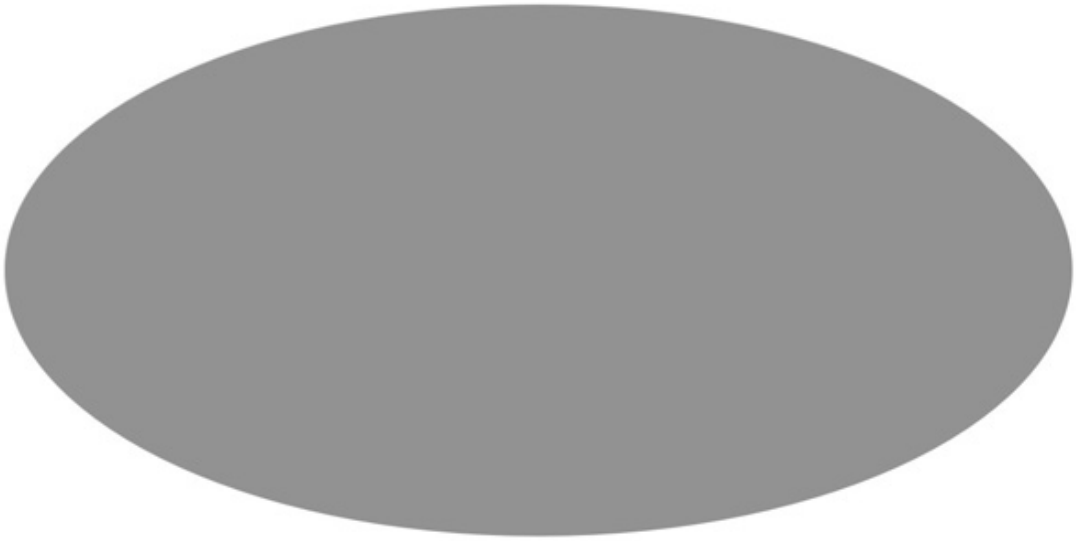
A resposta na verdade não é tão simples, porque recai na questão: como as condições iniciais conspiraram para produzir um Universo plano?

Há duas respostas para esta pergunta mais difícil. A primeira nos remete a 1981, quando Alan Guth, um jovem físico teórico que era então pós-doutorando da Universidade de Stanford, pensava sobre o Problema do Achatamento e outros dois problemas relacionados à imagem padrão do Big

Bang — os chamados Problema do Horizonte e Problema do Monopolo. Apenas o primeiro nos diz respeito aqui, já que o Problema do Monopolo simplesmente agrava tanto o do Achatamento quanto o do Horizonte.

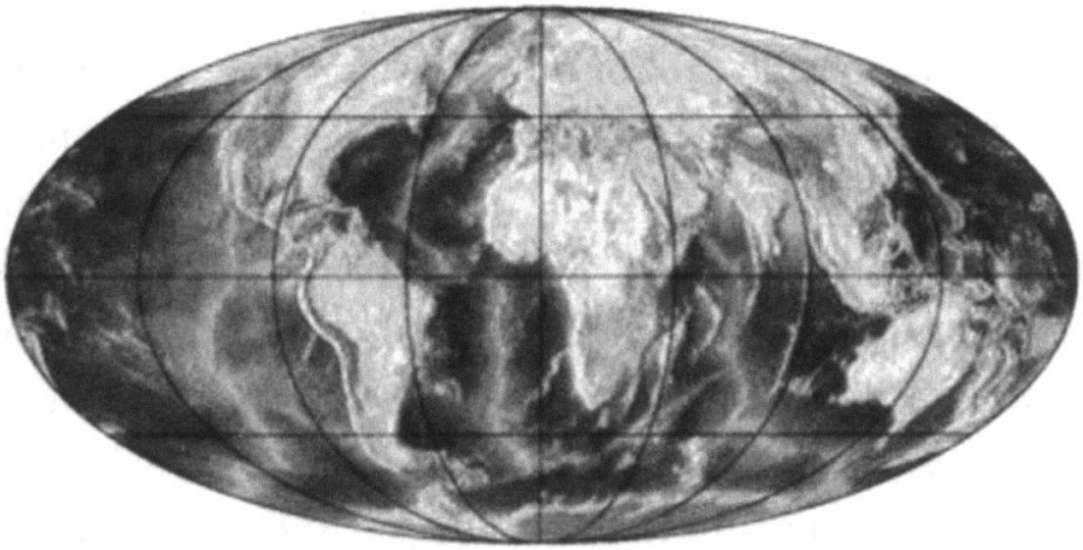
O Problema do Horizonte relaciona-se ao fato de a radiação cósmica de fundo em micro-ondas ser extremamente uniforme. Os pequenos desvios de temperatura já descritos representavam variações de densidade na matéria e na radiação quando o Universo tinha centenas de milhares de anos, ou menos que uma parte em 10 mil, se comparada à temperatura e à densidade de fundo uniformes. Então, enquanto eu estava focado nos pequenos desvios, uma pergunta mais profunda e mais urgente surgia: como o Universo ficou tão uniforme?

Afinal, se, em vez da imagem anterior da RCFM (em que variações de temperatura de algumas partes em 100 mil são refletidas em cores diferentes), eu tivesse mostrado um mapa de temperatura do céu em micro-ondas em escala linear (com variações das sombras representando variações da temperatura de, digamos, ±0,03 grau [Kelvin] sobre a temperatura de fundo média de mais ou menos 2,72 graus acima do zero absoluto, ou uma variação de uma parte em 100 sobre a média), o mapa seria assim:



Compare essa imagem, que não contém nada discernível na forma estrutural, com uma projeção semelhante da superfície da Terra, com uma sensibilidade

ligeiramente maior, cuja variação de cores representa variações sobre o raio médio de cerca de uma parte em quinhentas:



O Universo é, portanto, em grande escala, *incrivelmente* uniforme!

Como pode ser? Bem, pode-se supor que, em tempos mais remotos, o Universo inicial era quente, denso e estava em equilíbrio térmico. Isso significa que os pontos quentes teriam se resfriado e os pontos frios teriam se aquecido, até atingirem a mesma temperatura.

No entanto, como mencionei antes, quando ele tinha algumas centenas de milhares de anos, a luz pode ter viajado algumas centenas de milhares de anos-luz, representando uma pequena porcentagem do que agora é toda a parte observável do Universo (a distância anterior representaria um ângulo de apenas 1 grau em um mapa da superfície de última difusão de fundo em micro-ondas completa, como é observada hoje). Como Einstein afirma que nenhuma informação pode se propagar mais rápido que a luz, na imagem-padrão do Big Bang, não há como uma parte do que é agora o Universo observável ter sido afetada naquela época pela existência e pela temperatura de outras partes em escalas angulares maiores que cerca de 1 grau. Assim, não há como o gás, nessas escalas, ter entrado em equilíbrio térmico a tempo de produzir uma temperatura tão uniforme em todo o Universo.

O físico de partículas Guth estudava processos relevantes para a compreensão desse problema quando chegou a uma conclusão absolutamente brilhante. Se, enquanto esfriava, o Universo tivesse passado por uma transição de fase — como ocorre, por exemplo, quando a água congela ou quando uma barra de ferro se magnetiza —, então não só o Problema do Horizonte poderia ser resolvido, mas também o Problema do Achatamento (e, dessa forma, o Problema do Monopolo).

Se você gosta de beber cerveja bem gelada, pode fazer a seguinte experiência: tire uma garrafa da geladeira, e quando abrir e liberar a pressão do interior do recipiente de repente a cerveja congelará por completo, podendo até mesmo rachar a garrafa. Isso acontece porque, à alta pressão, o estado de menor energia da cerveja é a forma líquida; mas, uma vez que a pressão é liberada, o estado de menor energia da cerveja é o sólido. Durante a fase de transição, a energia pode ser liberada porque o estado de menor energia em uma fase pode ter menor quantidade de energia do que o estado de menor energia em outra fase. Quando ela é liberada, é chamada de "calor latente".

Guth percebeu que, conforme o Universo esfriava com a expansão do Big Bang, a configuração da matéria e da radiação no Universo em expansão pode ter ficado "presa" em um estado metaestável até, finalmente, como o Universo esfriava ainda mais, passar, de repente, para o estado de menor energia da matéria e da radiação. A energia armazenada na configuração de "vácuo falso" antes que a fase de transição se completasse — o "calor latente" do Universo — poderia afetar dramaticamente a expansão durante o período anterior à transição.

A energia do vácuo falso se comportaria exatamente como uma constante cosmológica porque agiria como uma energia que permeia todo o espaço vazio. Isso aumentaria a velocidade da expansão do Universo, que ficaria cada vez mais rápida. Em dado momento, o que se tornaria nosso Universo observável começaria a crescer mais rápido que a velocidade da luz. A relatividade geral permite que isso aconteça, embora pareça violar a teoria da Relatividade Especial de Einstein, em que nada pode se propagar mais rápido que a velocidade da luz. No entanto, é preciso analisar isso com um pouco mais de cuidado. A relatividade especial postula que nada pode se propagar

pelo espaço mais rápido que a velocidade da luz. Mas o *próprio espaço* pode fazer o que quiser, pelo menos na relatividade geral. E à medida que o espaço se expande, pode carregar objetos distantes, inicialmente em repouso, para longe uns dos outros a velocidades superiores à da luz.

Acontece que o Universo pode ter se expandido durante esse período inflacionário a um fator maior que 10^{28}. Ao mesmo tempo que esta é uma quantidade incrível, pode ter acontecido em uma fração de segundo durante a inflação do Universo jovem. Então tudo o que existe em nosso Universo observável um dia estava, antes de a inflação ocorrer, contido em uma região muito menor do que a que teríamos chegado se a inflação não tivesse acontecido, e, mais importante, seria tão pequena que teria havido tempo suficiente para que toda a região entrasse em equilíbrio térmico.

A inflação fez surgir a possibilidade de outra previsão relativamente genérica. Quando se enche um balão e ele fica cada vez maior, a curvatura de sua superfície fica cada vez menor. Algo semelhante acontece em um Universo cujo tamanho está em expansão exponencial, como pode ocorrer durante a inflação — acionada por uma energia de vácuo grande e constante. Na verdade, quando a inflação acaba (resolvendo o Problema do Horizonte), a curvatura (se for diferente de zero) passa a medir um valor absurdamente pequeno, fazendo com que, mesmo hoje, o Universo pareça essencialmente plano quando medido com precisão.

A inflação é a única explicação viável tanto para a homogeneidade quanto para o achatamento, baseada no que poderiam ser teorias microscópicas de partículas fundamentais e calculáveis e suas interações. Entretanto, mais do que isso, a inflação faz outra previsão, talvez ainda mais impressionante. Como já descrevi, as leis da mecânica quântica implicam que, em escalas muito pequenas, durante intervalos de tempo muito curtos, o espaço vazio pode parecer uma infusão fervente e borbulhante de partículas e campos, flutuando sem controle. Essas "flutuações quânticas" podem ser importantes ao determinar o caráter de prótons e átomos, mas geralmente são invisíveis em escalas maiores, um dos motivos pelos quais parecem tão anormais para nós.

No entanto, durante a inflação, essas flutuações quânticas podem determinar quando o que seriam pequenas regiões diferentes de espaço

terminam seu período de expansão exponencial. Como regiões diferentes param de inflacionar a tempos ligeiramente (microscopicamente) diferentes, a densidade da matéria e da radiação que resulta da liberação da energia de vácuo falso em forma de energia térmica nessas regiões é ligeiramente diferente em cada uma delas.

O padrão de flutuações de densidade que resultam da inflação — surgindo de flutuações quânticas no espaço outrora vazio — revelou estar de acordo com o padrão observado de pontos frios e quentes em escalas maiores na radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Ainda que concordância não prove nada, é claro, há uma visão crescente entre os cosmólogos de que, se anda como um pato, parece um pato e grasna como um pato, provavelmente é um pato. E se a inflação é de fato responsável por todas as pequenas flutuações na densidade da matéria e da radiação que mais tarde resultariam no colapso gravitacional da matéria em galáxias, estrelas, planetas e pessoas, então podemos afirmar com toda a certeza que estamos aqui hoje devido a flutuações quânticas no que é essencialmente *nada*.

Isso é tão impressionante que preciso ratificar: as flutuações quânticas, que do contrário seriam completamente invisíveis, foram congeladas pela inflação e, em seguida, surgiram como flutuações de densidade que produzem tudo o que podemos ver! Se somos todos poeira de estrelas, também é verdade que todos, literalmente, surgimos do nada quântico.

Isso é tão não intuitivo que pode parecer quase mágico. Mas existe pelo menos um aspecto de toda essa prestidigitação inflacionária que pode parecer bem preocupante. Afinal, de onde vem toda a energia? Como uma região microscopicamente pequena pode acabar em uma região do tamanho do Universo sem que haja matéria e radiação suficiente dentro dela para explicar tudo o que podemos ver?

Ainda podemos fazer a seguinte pergunta: como a densidade da energia pode permanecer constante em um Universo em expansão com uma constante cosmológica ou energia de vácuo falso? Afinal, nesse Universo, o espaço se expande exponencialmente, então, se a densidade da energia permanece a mesma, a energia total no interior de qualquer região vai crescer conforme a região. O que aconteceu com a conservação de energia?

Guth chamou esse acontecimento de "o derradeiro almoço grátis". Os efeitos da gravitação permitem que os objetos tenham, surpreendentemente, tanto energia "positiva" quanto "negativa". Essa faceta da gravitação permite que coisas com energia positiva, como matéria e radiação, possam ser complementadas por configurações de energia negativa que equilibram a energia das coisas com a energia positiva criada. Assim, a gravidade pode começar com um Universo vazio — e terminar com um cheio.

Pode parecer meio suspeito, mas tudo isso faz parte da fascinação real que temos pelo Universo plano. Também é algo com o qual você pode estar familiarizado se lembrar do que aprendeu nas aulas de física na escola.

Considere jogar uma bola para cima. Ela vai descer novamente. Agora jogue com mais força (supondo que você esteja ao ar livre). Ela vai subir mais alto e ficar mais tempo no ar antes de voltar. Finalmente, se você jogá-la com força suficiente, ela não vai mais descer. Vai sair do campo gravitacional da Terra e continuará subindo no cosmos.

Como saberemos quando a bola sairá do campo gravitacional? Usamos uma questão simples de contabilidade energética. Um objeto em movimento na Terra tem dois tipos de energia. Uma é a energia do movimento, chamada de *energia cinética*, da palavra grega para "movimento". Ela depende da velocidade do objeto e é sempre positiva. O outro tipo, chamado *energia potencial* (relacionado à capacidade de realizar trabalho), é geralmente negativo.

É por isso que definimos a energia gravitacional total de um objeto em repouso localizado infinitamente longe de outro objeto como sendo igual a zero, o que parece razoável. A energia cinética é claramente zero, e a energia potencial também foi definida como sendo igual a zero neste ponto, então a energia gravitacional total é zero.*

Agora, se o objeto não está tão longe dos outros, mas perto de um, como a Terra, ele começará a cair em direção a ela devido à atração gravitacional. Enquanto cai, o objeto acelera e, se bater em algo no meio do caminho — por exemplo, sua cabeça —, pode realizar trabalho, ou seja, abri-la ao meio. Quanto mais próximo o objeto está da superfície da Terra quando é solto, menos trabalho realizará quando atingi-la. Então, a energia potencial diminui conforme o objeto se aproxima da Terra. Mas, se a energia potencial é zero

quando se está longe da Terra, ela fica cada vez mais negativa à medida que se aproxima dela, pois sua capacidade de realizar trabalho diminui conforme a distância diminui.

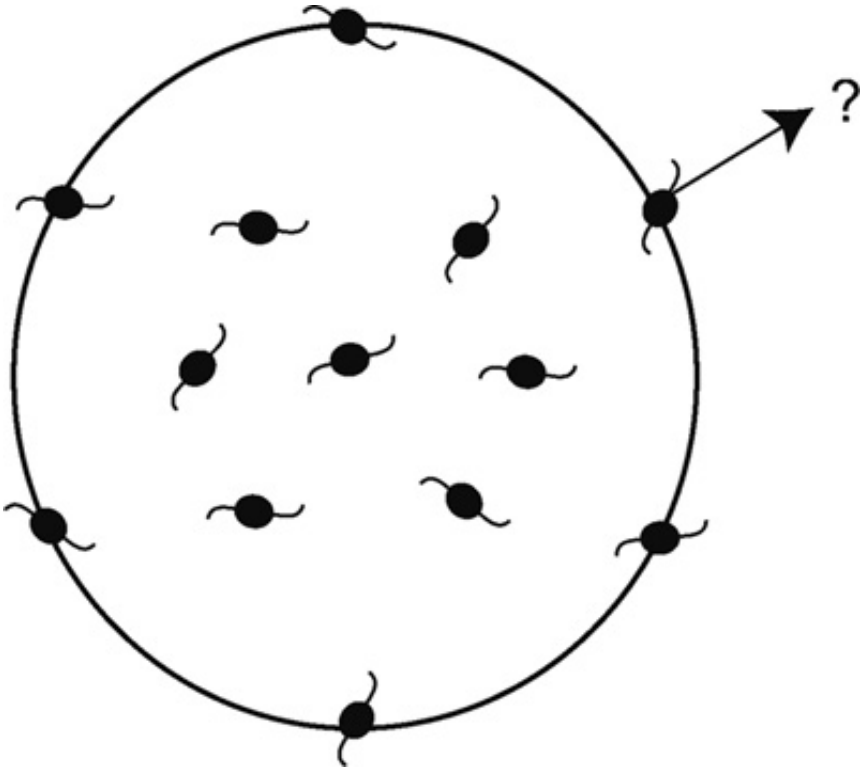
Na mecânica clássica, como explicitei aqui, a definição de energia potencial é arbitrária. Eu poderia ter designado a energia potencial de um objeto como sendo igual a zero na superfície da Terra, e aí ela corresponderia a um número bem mais alto quando o objeto estivesse infinitamente longe. Definir a energia total como sendo igual a zero na infinidade faz sentido do ponto de vista da física, mas é, pelo menos agora, apenas uma convenção.

Independentemente de onde se define o ponto zero da energia potencial, o fato mais maravilhoso quanto aos objetos sujeitos apenas à força gravitacional é que a *soma* de suas energias potencial e cinética permanece constante. Enquanto os objetos caem, a energia potencial é convertida em energia cinética, e, quando voltam a se distanciar do chão, a energia cinética é convertida novamente em energia potencial, e assim por diante.

Isso nos fornece uma ótima ferramenta de estruturação para determinar a velocidade necessária para jogar um objeto para o alto a ponto de fazê-lo escapar da Terra, uma vez que, se ele deve alcançar uma distância infinita, sua energia total deve ser maior ou igual a zero. Então eu simplesmente preciso garantir que sua energia gravitacional total, no momento em que ele sai da minha mão, seja maior ou igual a zero. Como só posso controlar um aspecto de sua energia total — ou seja, a velocidade com que ele sai da minha mão —, só preciso encontrar a velocidade mágica em que a energia cinética positiva da bola é igual ao negativo de sua energia potencial devido à atração na superfície da Terra. Tanto a energia cinética quanto a energia potencial dependem igualmente da massa da bola, que, por conseguinte, se anula quando as duas energias se igualam. Assim, encontra-se uma única "velocidade de escape" da superfície da Terra para todos os objetos, ou seja, cerca de 8km/s, quando a energia gravitacional total do objeto é precisamente zero.

"O que isso tudo tem a ver com o Universo em geral e com a inflação em particular?", você pode perguntar. Bem, o mesmo cálculo da bola que joguei para o alto a partir da superfície da Terra se aplica a qualquer objeto no Universo em expansão.

Considere uma região esférica do Universo centrada em nossa localização (na Via Láctea), grande o bastante para acomodar muitas galáxias, mas pequeno o bastante para estar dentro dos limites observáveis:



Se a região for grande, mas não tanto, as galáxias localizadas nas bordas da região se afastarão de nós de maneira uniforme devido à expansão de Hubble; no entanto, suas velocidades serão muito menores que a velocidade da luz. Nesse caso, as leis de Newton podem ser aplicadas e os efeitos da relatividade especial e geral, ignoradas. Em outras palavras, todo objeto é governado por uma física idêntica à que descreve as bolas sendo lançadas da Terra.

Considere a galáxia demonstrada na outra página, afastando-se do centro de distribuição. Assim como para a bola escapando da Terra, podemos perguntar se a galáxia conseguirá sair do campo gravitacional de todas as outras galáxias no interior da esfera. E o cálculo que determinará a resposta é o mesmo que fizemos para a bola. Simplesmente calculamos a energia gravitacional total da galáxia, baseando-nos em seu movimento para fora (dando-lhe energia positiva), e a força gravitacional de suas vizinhas

(fornecendo-lhe energia negativa). Se sua energia total for maior que zero, ela escapará para o infinito e, se for menor, parará e cairá para o centro.

Agora, é impressionante demonstrar que podemos reescrever a equação newtoniana simples para a energia gravitacional total dessa galáxia de maneira a reproduzir *exatamente* a equação de Einstein da relatividade geral para um Universo em expansão. O termo que corresponde à energia gravitacional total da galáxia se transforma, na relatividade geral, no termo que descreve a curvatura do Universo.

Então, o que encontramos? Em um Universo plano, e *somente* em um Universo plano, a energia gravitacional newtoniana média total de cada objeto movendo-se com a expansão é *exatamente* zero! É isso o que o torna tão especial: a energia positiva do movimento é cancelada pela energia negativa da atração gravitacional.

Quando começamos a complicar as coisas permitindo que o espaço vazio tenha energia, a analogia newtoniana simples de uma bola jogada para o alto torna-se incorreta, mas a conclusão é essencialmente a mesma. Em um Universo plano, mesmo com uma pequena constante cosmológica, contanto que a escala seja pequena o suficiente para que as velocidades sejam muito menores que a velocidade da luz, a energia gravitacional newtoniana associada a qualquer objeto do Universo é zero.

Na verdade, com uma energia de vácuo, o "almoço grátis" de Guth fica ainda mais dramático. Como cada região do Universo se expande para um tamanho cada vez maior, ele fica cada vez mais próximo de ser plano, fazendo com que a energia gravitacional newtoniana de tudo o que resulta da energia do vácuo durante a inflação seja convertida em matéria e a radiação seja zero.

Mas você ainda pode perguntar: "De onde vem toda a energia para manter a densidade durante a inflação quando o Universo está em expansão exponencial?" Aqui, outro aspecto notável da relatividade geral fornece a resposta: não só a energia gravitacional dos objetos pode ser negativa, como também sua "pressão" relativa.

A pressão negativa é ainda mais difícil de imaginar do que a energia negativa. O gás, dentro de um balão, por exemplo, exerce pressão nas paredes. Assim, caso as paredes do balão se expandam, ele realiza trabalho. O trabalho faz com que o gás perca energia e esfrie. No entanto, a energia do espaço

vazio é gravitacionalmente repulsiva porque faz com que ele tenha uma pressão "negativa". Como resultado, o Universo na verdade realiza trabalho *no* espaço vazio enquanto se expande. Esse trabalho mantém a densidade de energia do espaço constante mesmo durante a expansão.

Assim, se no início dos tempos as propriedades quânticas da matéria e da radiação acabaram dotando mesmo uma região infinitesimalmente pequena do espaço vazio com energia, essa região pode crescer e se tornar arbitrariamente grande e plana. Quando a inflação acabar, pode-se ter um Universo cheio de coisas (matéria e radiação), e a energia gravitacional total de todas essas coisas será o mais próximo que se pode imaginar de zero.

Então, quando toda a poeira baixou, e após um século de tentativas, medimos a curvatura do Universo e descobrimos ser zero. Você pode entender por que tantos teóricos como eu consideram isso não apenas muito gratificante, mas também muito sugestivo.

Um Universo que veio do nada… de fato.

Nota

* O autor chama de energia gravitacional total a soma das energias cinética e potencial, resultado também conhecido como energia mecânica. (N. R. T.)

7

Nosso futuro infeliz

O futuro não é o que costumava ser.

Yogi Berra

De certa forma, é impressionante e animador nos encontrarmos em um Universo dominado pelo nada. As estruturas visíveis, como estrelas e galáxias, foram todas criadas por flutuações quânticas do nada. E a energia gravitacional newtoniana total média de cada objeto é igual a nada. Aproveite enquanto pode, porque, se tudo for verdade, vivemos talvez no pior de todos os Universos, pelo menos no que diz respeito ao futuro da vida.

Lembre-se de que, há menos de um século, Einstein desenvolvia sua teoria da Relatividade Geral. O conhecimento da época afirmava que o Universo era estático e eterno. Na verdade, Einstein não só ridicularizou Lemaître por sugerir um Big Bang, como também inventou a constante cosmológica que permitiria um Universo estático.

Agora, quase um século depois, nós, cientistas, podemos nos orgulhar da descoberta da expansão subjacente do Universo, o fundo cósmico de micro-ondas, a matéria escura e a energia escura.

Mas o que o futuro trará?

Poesia... ou algo parecido.

Lembre-se de que o fato de a energia do espaço aparentemente vazio dominar a expansão do Universo foi inferido do aumento da velocidade dessa expansão. E, assim como a inflação, conforme descrito no capítulo anterior, nosso Universo observável está prestes a expandir mais rapidamente que a

velocidade da luz. E com o tempo, por causa da expansão acelerada, as coisas só ficarão piores.

Ou seja, quanto mais esperarmos, menos seremos capazes de ver. Galáxias que hoje conseguimos ver se afastarão de nós a velocidades mais rápidas que a luz, tornando-se invisíveis a nossos olhos. A luz emitida não será capaz de progredir contra a expansão do espaço e nunca mais chegará até nós. Terão desaparecido de nosso horizonte.

O modo como isso funciona é um pouco diferente do que você deve imaginar. Galáxias não desaparecem de repente, ou piscam e deixam de existir no céu noturno. Em vez disso, conforme sua velocidade de recessão se aproxima da velocidade da luz, a luz desses objetos fica cada vez mais próxima do desvio para o vermelho. Em algum momento, toda a luz visível se transforma em infravermelho, micro-ondas, ondas de rádio, e assim por diante, até o comprimento de onda se tornar maior que o tamanho do Universo visível. É nesse ponto que elas se tornam oficialmente invisíveis.

Podemos calcular aproximadamente em quanto tempo isso vai acontecer. Como em nosso aglomerado local as galáxias estão unidas pela atração gravitacional mútua, elas não recuarão com a expansão de fundo do Universo descoberta por Hubble. As galáxias externas ao nosso grupo estão a cerca de 1/5.000 de distância do ponto onde a velocidade de recuo dos objetos se aproxima da velocidade da luz. Eles levarão aproximadamente 150 bilhões de anos, cerca de dez vezes a idade atual do Universo, para chegar lá, e aí toda a luz das estrelas das galáxias terá alcançado o desvio em um fator de mais ou menos 5 mil. Em mais ou menos 2 trilhões de anos, sua luz terá se desviado tanto que fará com que seu comprimento de onda seja igual ao tamanho do Universo visível, e o restante terá literalmente desaparecido.

Dois trilhões de anos podem parecer muito tempo, e são. Do ponto de vista cósmico, no entanto, não chega nem perto da eternidade. As estrelas de "sequência principal" mais longevas (que têm a mesma história evolucionária que o Sol) têm vidas muito mais longas que o Sol e ainda estarão brilhando em 2 trilhões de anos (mesmo que o Sol morra em mais ou menos 5 bilhões de anos). Então, em um futuro distante poderá haver civilizações em planetas que rodeiam essas estrelas abastecidas por energia solar, água e materiais orgânicos. E poderá haver astrônomos com telescópios. Mas, quando eles

olharem para o cosmos, essencialmente tudo o que podemos ver agora, todos os 400 bilhões de galáxias que habitam o Universo visível, terá desaparecido!

Tentei usar esse argumento no Congresso norte-americano a fim de pedir financiamento para pesquisas em cosmologia agora, enquanto ainda há tempo para observar. Para um congressista, no entanto, dois anos são muito tempo. Dois trilhões são impensáveis.

De qualquer forma, os astrônomos do futuro terão uma grande surpresa se tiverem ideia do que lhes falta, o que não acontecerá. Não só todo o restante do Universo terá desaparecido — como meu colega Robert Scherrer, da Universidade Vanderbilt, e eu reconhecemos há alguns anos —, como também todas as evidências que hoje nos dizem que vivemos em um Universo em expansão que teve início em um Big Bang, além das provas da existência da energia escura no espaço vazio responsável por esse desaparecimento.

Enquanto menos de um século atrás o conhecimento convencional ainda postulava que o Universo era estático e eterno, com estrelas e planetas indo e vindo, mas em escalas maiores que o próprio Universo, no futuro distante, muito depois de os vestígios da existência de nosso planeta e de nossa civilização terem desaparecido, a ilusão que se manteve até 1930 voltará, com uma vingança na manga.

Há três pilares observacionais que possibilitaram a validação empírica do Big Bang, de forma que, mesmo se Einstein e Lemaître não tivessem existido, o reconhecimento de que o Universo começara em um estado quente e denso teria sido forçada: a expansão de Hubble, o fundo cósmico de micro-ondas e o acordo sobre a abundância de elementos leves — hidrogênio, hélio e lítio — que medimos no Universo, com as quantidades produzidas durante os primeiros minutos da história do Universo.

Comecemos com a expansão de Hubble. Como sabemos que o Universo está em expansão? Medimos a velocidade de recuo de objetos distantes em função de sua distância. No entanto, uma vez que os objetos visíveis do lado de fora do aglomerado local (ao qual somos gravitacionalmente ligados) tenham desaparecido de nosso horizonte, não haverá mais qualquer coisa em expansão — estrela, galáxia, quasar ou mesmo nuvem de gás — que observadores possam seguir. A expansão será tão eficiente que terá removido todos os objetos visíveis, que na verdade estão recuando em relação a nós.

Mais do que isso, em uma escala de tempo de mais de 1 trilhão de anos, todas as galáxias do aglomerado local terão se aglutinado em um tipo de metagaláxia. Observadores no futuro distante verão mais ou menos o que os de 1915 acharam que viram: uma única galáxia hospedando sua estrela e seu planeta, cercada por um espaço estático e aparentemente vazio.

Lembre-se também de que todas as evidências da existência de energia no espaço vazio vêm da observação da taxa de velocidade da expansão do Universo. No entanto, mais uma vez, sem ter como rastrear a expansão, a aceleração do Universo em expansão será inobservável. De fato, em uma coincidência estranha, estamos vivendo na única era em que a presença de energia escura permeando o espaço vazio pode ser detectável. É verdade que uma era corresponde a centenas de bilhões de anos, mas em um Universo em expansão eterna representa o mero piscar de olhos cósmicos.

Se partimos do princípio de que a energia do espaço vazio é, *grosso modo*, constante, como seria o caso de uma constante cosmológica, então, em tempos remotos, a densidade da energia da matéria e da radiação teria excedido em muito a do espaço vazio. Isso se deve simplesmente ao fato de que, conforme o Universo se expande, a densidade da matéria e da radiação diminui, porque a distância entre as partículas cresce, fazendo com que haja menos objetos em cada volume. Há mais ou menos 5 a 10 bilhões de anos, a densidade da matéria e da radiação seria muito maior que hoje. O Universo seria então dominado pela matéria e pela radiação, com sua atração gravitacional consequente. Nesse caso, a expansão do Universo estaria desacelerando, e o impacto gravitacional da energia do espaço vazio teria sido inobservável.

Da mesma forma, no futuro distante, quando o Universo tiver centenas de bilhões de anos, a densidade da matéria e da radiação terá diminuído ainda mais, e a energia escura terá uma densidade média maior que 1 milhão de vezes a densidade de toda a matéria e radiação restantes. Ela dominará, então, completamente a dinâmica gravitacional do Universo em grandes escalas. No entanto, com essa idade avançada, a expansão acelerada terá se tornado essencialmente inobservável. Assim, a energia do espaço vazio assegura, por sua própria natureza, haver um tempo finito para a observação, e, o que é impressionante, nós estamos vivendo esse instante cosmológico.

E o outro pilar do Big Bang, o fundo cósmico de micro-ondas, que fornece uma mini-imagem do Universo? Primeiro, como o Universo se expande cada vez mais rápido no futuro, a temperatura da RCFM cairá. Quando o Universo atualmente observável for cerca de cem vezes maior do que é agora, a temperatura da RCFM terá caído um fator de 100, e sua intensidade, ou a densidade de energia armazenada em seu interior, terá caído um fator de 100 milhões, fazendo com que seja mais ou menos 100 milhões de vezes mais difícil detectá-la do que é hoje.

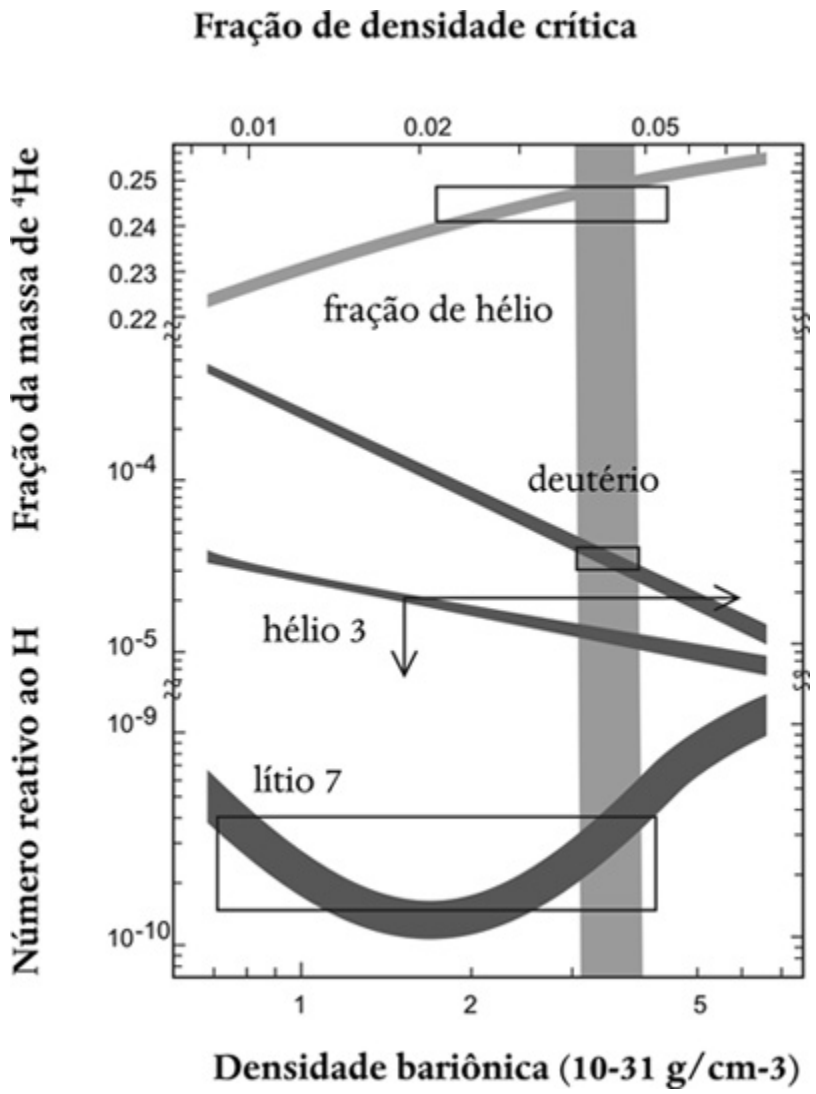
Mas, afinal, conseguimos detectar o fundo cósmico de micro-ondas em meio a todos os outros barulhos eletrônicos na Terra, e observadores no futuro distante talvez serão 100 milhões de vezes mais inteligentes do que aqueles com que somos abençoados hoje, ou seja, nem toda a esperança está perdida. Ai de nós, parece que mesmo o observador mais brilhante, com o instrumento mais sensível, também terá uma falta de sorte substancial no futuro distante. Porque na Via Láctea (ou na metagaláxia que se formará quando a galáxia se fundir com as galáxias vizinhas, começando por Andrômeda, em cerca de 5 bilhões de anos) há gás quente entre as estrelas, e esse gás é ionizado, então contém elétrons livres e comporta-se como um plasma. Como descrevi antes, esse plasma não reflete muitos tipos de radiação.

Existe algo chamado "frequência de plasma", abaixo da qual a radiação não consegue permear um plasma sem absorção. Baseando-nos na densidade de elétrons livres na galáxia, podemos estimar a frequência de plasma da galáxia e descobrir que a maior parte da RCFM do Big Bang será esticada, quando o Universo tiver cerca de cinquenta vezes sua idade atual, a comprimentos de onda suficientemente grandes e, assim, frequências suficientemente baixas, o que fará com que estejam abaixo da frequência de plasma de nossa (meta)galáxia nessa época futura. Depois disso, a radiação não conseguirá mais entrar na (meta)galáxia para ser observada, independentemente da tenacidade do observador. A RCFM também terá desaparecido.

Então, nenhuma expansão, nenhum brilho remanescente do Big Bang. Mas e quanto à abundância de elementos leves — hidrogênio, hélio e lítio — que também provam a existência do Big Bang?

De fato, como descrevi no capítulo 1, sempre que encontro alguém que não acredita no Big Bang, gosto de lhe mostrar a figura que carrego na carteira

para então dizer: "Veja! Existiu um Big Bang!"



Essa imagem parece muito complicada, eu sei, mas na verdade mostra a abundância prevista de hélio, deutério, hélio-3 e lítio, comparada ao hidrogênio, baseada na nossa compreensão atual do Big Bang. A curva superior, que vai para cima e para a direita, mostra a abundância prevista de hélio, o segundo elemento mais abundante no Universo, por peso, comparado ao hidrogênio (o elemento mais abundante). As duas curvas seguintes, para baixo e para a direita, representam as abundâncias previstas de deutério e hélio-3, respectivamente, por número de átomos, comparados ao hidrogênio.

Finalmente, a curva inferior representa a abundância prevista do próximo elemento mais leve, o lítio, novamente por número de átomos.

As abundâncias previstas são representadas como funções da densidade total suposta da matéria normal (feita de átomos) no Universo hoje. Se a variação dessa quantidade não produzisse nenhuma combinação de todas as abundâncias de elementos previstas que se relacionassem com nossas observações, seria uma evidência séria contra sua produção em um Big Bang quente. Note que as abundâncias previstas desses elementos variam em pelo menos dez ordens de magnitude.

Os boxes não sombreados associados a cada curva representam o alcance permitido da abundância primordial estimada desses elementos baseado em observações de estrelas antigas e gás quente no interior e no exterior da galáxia.

A faixa vertical sombreada representa a região em que todas as previsões e observações concordam. É difícil imaginar defesa mais concreta que essa correspondência entre previsões e observações, novamente para elementos cujas abundâncias previstas variam em dez ordens de magnitude, para um Big Bang quente e inicial onde todos os elementos leves haviam sido produzidos pela primeira vez.

Vale a pena repetir as implicações dessa conformidade. Apenas nos primeiros segundos de um Big Bang quente, com uma abundância inicial de prótons e nêutrons que resultaria em algo muito próximo da densidade da matéria observada em galáxias visíveis hoje e uma densidade de radiação que deixaria como remanescente um correspondente à intensidade da radiação cósmica de fundo em micro-ondas observada hoje, ocorreriam reações nucleares que poderiam reproduzir a abundância de elementos leves — hidrogênio e deutério, hélio e lítio — que deduzimos terem constituído os blocos de construção básicos das estrelas que se espalham pelo céu noturno.

Como Einstein talvez dissesse, somente um Deus muito malicioso (e, portanto, em sua mente, inimaginável) teria conspirado para criar um Universo que aponta tão claramente para uma origem como o Big Bang sem que ela tenha acontecido.

De fato, quando a conformidade entre a abundância deduzida de hélio no Universo e a prevista de hélio resultante de um Big Bang foi demonstrada pela

primeira vez, nos anos 1960, foi um dos dados-chave que ajudaram a imagem do Big Bang a ganhar força diante do modelo estático de Universo muito popular na época defendido por Fred Hoyle e seus colegas.

No futuro distante, no entanto, as coisas serão bem diferentes. As estrelas queimam hidrogênio produzindo hélio, por exemplo. Atualmente, apenas cerca de 15% de todo o hélio observado no Universo poderia ter sido produzido por estrelas desde o Big Bang — mais uma evidência convincente de que o Big Bang foi necessário para produzir o que vemos. Mas em um futuro distante esse não será o caso, pois gerações de estrelas terão vivido e morrido.

Quando o Universo tiver 1 trilhão de anos, por exemplo, muito mais hélio terá sido produzido em estrelas do que o produzido no próprio Big Bang. Essa situação é demonstrada no gráfico a seguir:

Quando 60% da matéria visível do Universo for composta por hélio, não haverá necessidade de hélio primordial em um Big Bang quente para produzir conformidade com as observações.

Observadores e teóricos de alguma civilização no futuro distante serão, no entanto, capazes de usar esses dados para deduzir que o Universo deveria ter uma idade finita. Como as estrelas queimam hidrogênio produzindo hélio, haverá um limite maior para a vida delas a fim de que não se esgote a razão entre hidrogênio e hélio. Assim, cientistas do futuro estimarão que o Universo em que vivem tem menos que 1 trilhão de anos. Mas qualquer sinal de que o

início envolveu um Big Bang, e não outro tipo de criação espontânea de nossa futura única (meta)galáxia, faltará.

Lemaître afirmou sobre a existência de um Big Bang única e simplesmente pensando sobre a relatividade geral de Einstein. Podemos supor que qualquer civilização avançada no futuro distante descobrirá as leis da física, o eletromagnetismo, a mecânica quântica e a relatividade geral. Algum Lemaître do futuro será capaz de afirmar isso?

A conclusão de Lemaître era inevitável, mas foi baseada no pressuposto de que não será verdadeiro para o Universo observável no futuro. Um Universo cuja matéria se estende de maneira uniforme em todas as direções, um Universo isotrópico e homogêneo, não pode ser estático, pelas razões que Lemaître e mesmo Einstein reconheceram. Entretanto, há uma solução perfeitamente plausível das equações de Einstein para um único sistema massivo cercado por um espaço estático vazio. Afinal, se essa solução não existisse, a relatividade geral não seria capaz de descrever objetos isolados como estrelas de nêutrons ou, em última instância, buracos negros.

Grandes distribuições de massa, como a Via Láctea, são instáveis, então uma hora nossa (meta)galáxia entrará em colapso e formará um grande buraco negro. Esse acontecimento é descrito por uma solução estática da equação de Einstein chamada Solução de Schwarzchild. Mas o prazo para que nossa galáxia entre em colapso e forme um grande buraco negro é muito maior que o prazo para que o restante do Universo desapareça. Assim, será natural imaginar que nossa galáxia poderia ter existido durante 1 trilhão de anos em um espaço vazio sem nenhum colapso significativo e sem a necessidade de um Universo em expansão em volta dela.

É claro, especulações sobre o futuro são bem difíceis. Escrevia isso, na verdade, enquanto o Fórum Econômico Mundial em Davos, na Suíça, estava cheio de economistas que preveem o comportamento de mercados futuros e revisam suas previsões quando se revelam incorretas. Em geral, considero quaisquer previsões do futuro distante, e mesmo do futuro não tão distante, da ciência e da tecnologia ainda mais incertas que as da ciência lúgubre. De fato, sempre que me perguntam sobre o futuro da ciência ou sobre qual será o próximo grande avanço, respondo que, se soubesse, estaria trabalhando nele agora mesmo!

Então, gosto de pensar que a imagem que apresentei neste capítulo é algo como a imagem do futuro apresentada pelo terceiro fantasma em *Um conto de Natal*, de Dickens. É o futuro como ele *deve ser*. Afinal, como não temos ideia do que seja a matéria escura que permeia o espaço vazio, então também não podemos ter certeza de que ela se comportará como a constante cosmológica de Einstein e permanecerá constante. Se não for assim, o futuro do Universo pode ser muito diferente. A expansão pode não continuar acelerando, mas desacelerar com o tempo, fazendo com que galáxias distantes não desapareçam. Como alternativa, talvez haja algumas quantidades observáveis novas não detectáveis que podem fornecer a astrônomos no futuro evidências de que um dia houve um Big Bang.

Ainda assim, baseado em tudo o que sabemos sobre o Universo hoje, o futuro que desenhei é o mais plausível, e é fascinante pensar se a lógica, a razão e os dados empíricos ainda induzirão, de alguma forma, cientistas futuros a supor a correta natureza subjacente de nosso Universo ou se ela permanecerá para sempre obscura atrás do horizonte. Um cientista brilhante, explorando a natureza fundamental de forças e partículas, pode derivar uma imagem teórica que sugira que a inflação deve ter acontecido, ou que deve haver uma energia no espaço vazio, o que explicaria não haver galáxias no horizonte visível. Não sou muito otimista quanto a isso.

A física é, afinal de contas, uma ciência empírica, impulsionada pelo experimento e pela observação. Se não tivéssemos inferido, por meio de observações, a existência da matéria escura, duvido que qualquer teórico teria sido corajoso o suficiente para sugerir sua existência hoje. E, embora características possam sugerir que algo está errado com a imagem de uma única galáxia em um Universo estático sem um Big Bang — talvez uma observação de abundâncias de elementos que pareça anômala —, suspeito que a navalha de Occam sugerirá que a imagem mais simples é a correta e que as observações anômalas podem ser explicadas por algum efeito local.

Desde que Bob Scherrer e eu propusemos o desafio de que cientistas no futuro usarão dados e modelos falsificáveis — o próprio paradigma da boa ciência —, mas que no processo acabarão com uma imagem falsa do Universo, muitos colegas tentaram sugerir maneiras de observar a expansão no futuro

distante. Também posso imaginar experimentos possíveis. Mas não consigo acreditar por que eles estariam tão motivados.

Por exemplo, seria preciso ejetar estrelas brilhantes de nossa galáxia e enviá-las para o espaço, esperar 1 bilhão de anos até elas explodirem e tentar observar suas velocidades de recessão em função da distância que alcançaram antes da explosão, para investigar se teriam ajuda de uma possível expansão do espaço. É pedir muito, mas, mesmo que isso fosse possível, não consigo acreditar que a Fundação Nacional da Ciência do futuro financie o experimento sem pelo menos outra motivação para argumentar a favor da expansão do Universo. E se, de alguma forma, estrelas de nossa galáxia forem ejetadas e detectadas naturalmente à medida que se movimentam em direção ao horizonte, não fica claro para mim que a observação de uma aceleração anômala possa ser interpretada como uma proposta tão corajosa e estranha quanto um Universo em expansão dominado por energia escura.

Podemos nos considerar sortudos por viver no tempo de agora. Ou como Bob e eu escrevemos em um dos artigos: "Vivemos em uma era muito especial... a única era em que podemos verificar por meio de observações que vivemos em uma era muito especial!"

Estávamos brincando, mas é sensato sugerir que alguém pode dispor das melhores ferramentas teóricas e observacionais e mesmo assim chegar a uma imagem completamente falsa do Universo em grande escala.

Devo apontar, no entanto, que, mesmo que dados incompletos *possam* levar a uma imagem falsa, isso é muito diferente da imagem (falsa) obtida ao ignorar dados empíricos para inventar uma imagem de criação que contradiga as evidências da realidade (os adeptos da Terra jovem, por exemplo), ou ao reivindicar a existência de algo para o qual não existe qualquer tipo de evidência observável (como a inteligência divina) que concilie sua visão da criação a seus preconceitos *a priori*, ou ainda pior, aqueles que se agarram a contos de fadas sobre a natureza que supõem as respostas antes que perguntas possam ser feitas. Pelo menos os cientistas do futuro estarão baseando suas estimativas nas melhores evidências disponíveis, reconhecendo, como todos reconhecemos, ou pelo menos como os cientistas reconhecem, que novas evidências podem mudar a imagem que temos da realidade.

Vale a pena acrescentar que hoje talvez não estejamos vendo algo que só poderíamos ter observado há 10 bilhões de anos, ou talvez daqui a 100 bilhões de anos. Ainda assim, devo salientar que a existência do Big Bang está muito bem-fundamentada em dados de todas as áreas para que se prove inválida em suas características gerais. Mas alguma nova compreensão dos detalhes discretos do passado ou do futuro distantes, ou da origem do Big Bang e de sua singularidade possível no espaço, pode surgir de repente com novos dados. Na verdade, espero que isso aconteça. Uma lição que podemos tirar do possível fim da vida e da inteligência no Universo é que precisamos ter humildade cósmica em nossas afirmações, mesmo que isso seja difícil para os cosmólogos.

De qualquer forma, o cenário descrito tem certa simetria poética, embora seja igualmente trágico. No futuro, os cientistas deduzirão uma imagem do Universo que remontará àquela que tínhamos no início do século passado e que serviu de catalisadora para investigações que levaram a revoluções modernas na cosmologia. A cosmologia então terá se fechado em um círculo. Eu, por exemplo, acho isso impressionante, mesmo que alguns achem a maior futilidade de nosso breve momento ao sol.

Mesmo assim, o problema fundamental ilustrado pelo possível fim da cosmologia é que temos apenas um Universo para pôr à prova. Embora precisemos testá-lo caso tenhamos qualquer esperança de entender como o que hoje observamos surgiu, somos, no entanto, limitados tanto nas medições quanto nas interpretações dos dados.

Se muitos Universos existem, e se de alguma forma pudéssemos investigar mais de um, talvez tivéssemos mais chances de saber quais observações são realmente significativas e fundamentais e quais surgem apenas como acidentes circunstanciais.

Como veremos, a última possibilidade talvez seja improvável, mas a primeira, não, e cientistas estão avançando com novos testes e novas propostas para aprofundar a compreensão das características inesperadas e estranhas do Universo.

Antes de prosseguir, no entanto, talvez valha a pena evocar outra imagem, mais literária, do provável futuro que apresentei aqui — imagem especialmente relevante para o objetivo deste livro. Ela vem da resposta de

Christopher Hitchens ao cenário que acabei de descrever: "Para aqueles que acham impressionante vivermos em um Universo do Algo, esperem. O Nada está avançando em uma rota de colisão que vem em nossa direção."

8

Um grande acidente?

Supondo-se a existência de um criador e um plano,
isso faz dos humanos objetos em um experimento cruel
em que somos criados para ficar doentes e ordenados a ficar sadios.

Christopher Hitchens

É INATO PENSAR QUE TUDO O QUE ACONTECE tem significado. Sonhamos que um amigo vai quebrar o braço e, no dia seguinte, descobrimos que ele torceu o tornozelo. Uau! Cósmico! Vidente?

O físico Richard Feynman gostava de abordar as pessoas dizendo: "Você não vai acreditar no que aconteceu comigo hoje! Você não vai acreditar!" E, quando elas perguntavam o que acontecera, ele dizia: "Absolutamente nada!" Feynman sugeria que as pessoas apenas atribuíam significado quando algo como o sonho que descrevi acontece. Elas ignoram todos os sonhos sem sentido que não previram absolutamente nada. Ao ignorar o fato de que nada de notável acontece na maior parte do tempo, interpretamos mal a natureza da probabilidade quando algo incomum acontece: no meio de vários acontecimentos, algo incomum vai acontecer, só por acidente.

Como isso se aplica ao Universo?

Até a descoberta de que, inexplicavelmente, a energia do espaço vazio não só não é zero, mas assume um valor que é 120 ordens de grandeza menor que a estimativa que descrevi baseado em ideias da física de partículas, o conhecimento entre os físicos era de que todo parâmetro fundamental medido na natureza *é* significativo. Com isso, baseados em princípios

fundamentais, conseguiríamos entender questões como: por que a gravidade é tão mais fraca que as outras forças da natureza, por que o próton é 2 mil vezes mais pesado que o elétron e por que existem três famílias de partículas elementares. Dito de outra forma, uma vez que entendêssemos as leis que governam as forças da natureza em menor escala, todos esses mistérios seriam revelados como consequências naturais.

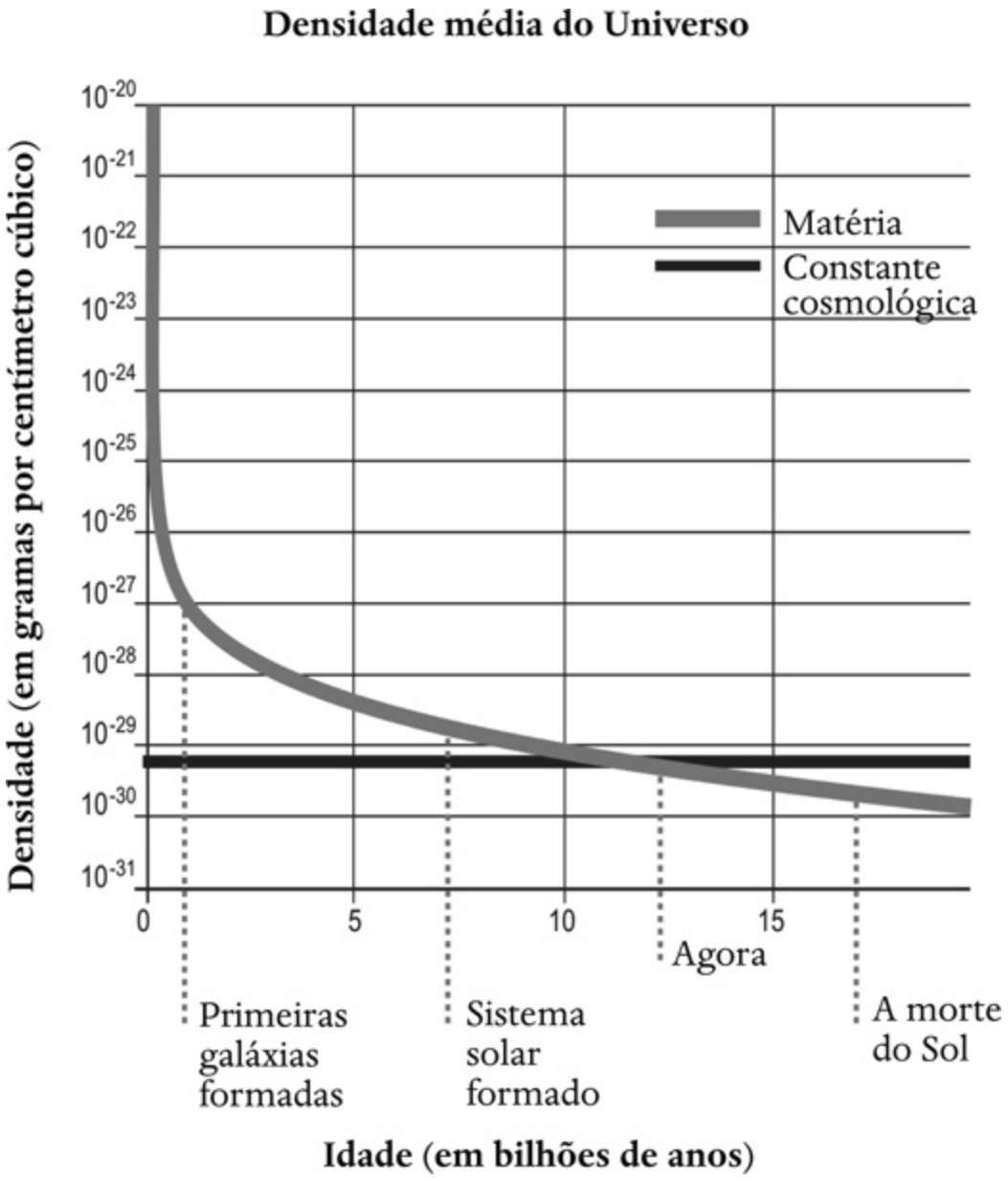
(Um argumento puramente religioso, por outro lado, poderia sugerir que cada constante fundamental é significativa porque Deus escolheu um valor para cada uma como parte de um plano divino para o Universo. Nesse caso, nada é acidente, mas, pelos mesmos parâmetros, nada é previsto ou realmente explicado. É um argumento que não leva a lugar nenhum e não produz nada de útil sobre as leis da física que governam o Universo, apenas fornece consolo para o crente.)

Mas a descoberta de energia no espaço vazio deu início ao questionamento entre os físicos sobre o que é necessário na natureza e o que pode ser acidental.

O catalisador dessa nova *Gestalt* tem origem no argumento que dei no último capítulo: a energia escura é mensurável hoje porque "agora" é o único momento na história do Universo em que a energia no espaço vazio é comparável à densidade da energia da matéria.

Por que deveríamos viver em um tempo tão "especial" na história do Universo? De fato, isso vai de encontro a tudo que caracterizou a ciência desde Copérnico. Aprendemos que a Terra não é o centro do sistema solar e que o Sol é uma estrela localizada nas bordas externas e distantes de uma galáxia que é apenas uma de 400 bilhões no Universo observável. Tivemos que aceitar o "princípio de Copérnico" de que não há nada de especial sobre nosso lugar e nossa época.

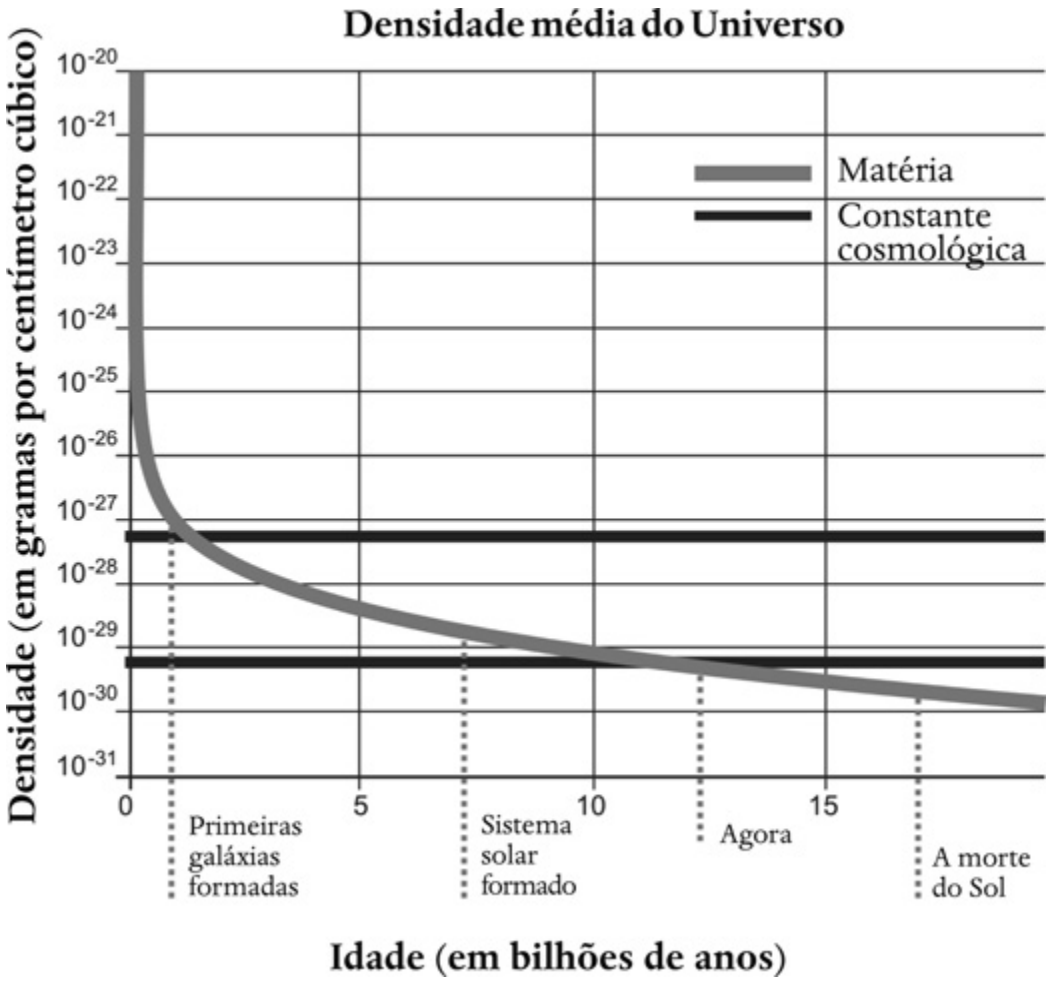
Mas, com a energia do espaço vazio, parece que vivemos, *sim*, em uma época especial. A ilustração de uma "breve história do tempo" ilustra melhor o que quero dizer:



As duas curvas representam a densidade de energia de toda a matéria no Universo e a densidade da energia do espaço vazio (supondo que seja uma constante cosmológica) como uma função do tempo. Como se pode ver, a densidade da matéria cai à medida que o Universo se expande (a distância entre as galáxias aumenta ainda mais e a matéria, assim, fica "diluída"), exatamente como o esperado. No entanto, a densidade da energia do espaço vazio permanece constante, porque, pode-se argumentar, nada se dilui no espaço vazio. (Ou, como descrevi antes, o Universo realiza trabalho no espaço

vazio à medida que se expande.) As duas curvas se cruzam relativamente próximas ao tempo presente, a fonte da estranha coincidência que descrevi.

Agora veja o que aconteceria se a energia no espaço vazio fosse, digamos, cinquenta vezes maior que a estimada hoje. As duas curvas se cruzariam em um tempo diferente, anterior, conforme mostra a figura abaixo.



O tempo em que as curvas se cruzam no primeiro valor da constante, aumentado o valor de energia do espaço vazio, acontece quando as galáxias se formaram, mais ou menos 1 bilhão de anos após o Big Bang. Mas a energia do espaço vazio é gravitacionalmente repulsiva. Se ela tivesse dominado a energia do Universo antes de as galáxias se formarem, a força repulsiva, devido à sua energia, teria sobrepesado (literalmente) a força gravitacional atrativa normal

que fez com que a matéria se amontoasse. E as galáxias nunca teriam se formado!

No entanto, se as galáxias não tivessem se formado, as estrelas também não o fariam. E se as estrelas não tivessem se formado, os planetas também não o fariam. E se os planetas não tivessem se formado, os astrônomos não existiriam!

Então, em um Universo com uma energia de espaço vazio simplesmente cinquenta vezes maior que a observada, aparentemente ninguém estaria hoje por aqui para tentar medi-la.

Isso poderia significar alguma coisa? Logo após a descoberta da aceleração do Universo, o físico Steven Weinberg propôs, baseado em um argumento desenvolvido uma década antes — anterior à descoberta da energia escura —, que o "problema da coincidência" poderia, então, ser resolvido se o valor da constante cosmológica fosse, de certa forma, selecionado "antropicamente". Isto é, se de alguma forma houvesse muitos Universos, e em cada um o valor da energia do espaço vazio tivesse um valor escolhido aleatoriamente baseado na distribuição de probabilidade entre todas as energias possíveis, então a vida como a conhecemos seria capaz de evoluir somente nos Universos nos quais o valor não fosse diferente do que medimos. Talvez estejamos em um Universo com uma energia pequena no espaço vazio porque não poderíamos estar em um cujo valor fosse muito maior. Em outras palavras, não é tão surpreendente descobrir que vivemos em um Universo no qual podemos viver!

Esse argumento, no entanto, só faz sentido matematicamente se houver a possibilidade de muitos Universos diferentes terem surgido. Falar sobre muitos Universos diferentes pode parecer um oximoro. Afinal, a noção de Universo tornou-se sinônimo de "tudo o que existe".

Mais recentemente, no entanto, "Universo" passou a ter um significado mais simples, sem dúvida mais sensato. Hoje em dia é comum pensar que o "nosso" Universo compreende tudo o que podemos ver agora e tudo o que poderíamos vir a ver. Fisicamente, então, o Universo compreende tudo aquilo que poderia sofrer impacto um dia ou que possa vir a ter.

No minuto em que se escolhe esta definição para o Universo, a existência de outros — regiões que sempre estiveram e sempre estarão casualmente desconectadas da nossa, como ilhas desprovidas de comunicação umas com as

outras por meio de um oceano de espaço — torna-se possível, pelo menos em princípio.

O Universo é tão vasto que, como já enfatizei, se algo não é impossível, então é praticamente garantido que ocorra em algum lugar dele. Fatos raros acontecem o tempo todo. Algum princípio pode se aplicar à possibilidade de muitos Universos, ou um "multiverso", como a ideia é conhecida hoje. No entanto, a situação teórica é mais forte que uma mera possibilidade. Algumas ideias centrais que orientam grande parte da atual atividade da física de partículas parece exigir um multiverso.

Quero enfatizar isso porque, em discussões com pessoas que acreditam na existência de um criador, o multiverso é visto como uma desculpa de físicos que ficaram sem respostas — ou talvez sem perguntas. Isso pode acontecer um dia, mas não hoje. Quase todas as possibilidades lógicas quanto a estender as leis da física como as conhecemos em pequenas escalas para uma teoria mais completa sugerem que, em grandes escalas, o Universo não está sozinho.

O fenômeno da inflação fornece talvez o primeiro, e talvez o melhor, raciocínio. No quadro inflacionário, durante a fase em que uma energia enorme domina temporariamente uma região do Universo, essa região começa a se expandir exponencialmente. Em algum ponto, uma pequena região dentro desse "falso vácuo" pode sair da inflação conforme uma transição de fase na região ocorre e o campo dentro dela relaxa, alcançando seu valor de energia verdadeiro, mais baixo; a expansão dentro dessa região deixará de ser exponencial. Mas o espaço *entre* essas regiões continuará a se expandir exponencialmente. A qualquer momento, a não ser que a transição se complete por todo o espaço, este se encontrará dentro de uma região inflacionária. E a região inflacionária separará as regiões que saíram primeiro da inflação em distâncias quase inimagináveis. É como a lava que sai de um vulcão. Algumas pedras esfriarão e se solidificarão, mas serão carregadas para longe umas das outras conforme flutuam em um mar de magma líquido.

A situação pode ser ainda mais dramática. Em 1986, Andrei Linde, que, junto com Alan Guth, tem sido um dos construtores da teoria inflacionária moderna, promoveu e explorou um cenário ainda mais geral. Isso também foi antecipado por Alex Vilenkin, um criativo cosmólogo russo radicado nos Estados Unidos. Tanto Linde quanto Vilenkin têm a confiança que se encontra

em grandes físicos russos, mas suas histórias diferem um pouco. Linde prosperou no estabelecimento da antiga física soviética antes de emigrar para os Estados Unidos, após a queda da União Soviética. Audacioso, brilhante e engraçado, continuou a dominar grande parte da física de partículas teórica. Vilenkin emigrou antes, antes mesmo de se tornar físico, e trabalhou nos Estados Unidos em empregos comuns, enquanto estudava. Embora sempre tivesse interesse em cosmologia, acidentalmente se inscreveu para a pós-graduação errada e acabou publicando uma tese em física da matéria condensada — a física dos materiais. Conseguiu um emprego como pesquisador em pós-doutorado na Universidade Case Western Reserve, da qual mais tarde eu me tornei titular. Durante esse período, ele perguntou ao orientador, Philip Taylor, se poderia trabalhar em cosmologia além dos projetos aos quais já se dedicava. Philip me disse mais tarde que, mesmo com esse trabalho de meio período, Alex foi o pós-doutorando mais produtivo que ele já teve.

De qualquer forma, Linde reconheceu que, embora flutuações quânticas durante a inflação possam com frequência empurrar o campo que impele a inflação em direção a seu menor estado de energia, e assim fornecer uma saída à francesa, sempre há a possibilidade de que, em algumas regiões, as flutuações quânticas impulsionem o campo em direção a valores mais altos de energia e consequentemente para longe de valores segundo os quais a inflação terminará, fazendo com que ela continue inabalável. Como essas regiões terão períodos de tempo maiores de expansão, haverá muito mais espaço sofrendo inflação que espaço não sofrendo. Nessas regiões, flutuações quânticas levarão algumas sub-regiões a sair da inflação mais uma vez, e assim se expandir exponencialmente, mas, de novo, haverá regiões em que as flutuações quânticas farão com que a inflação persista por ainda mais tempo. E assim por diante.

Essa imagem, chamada por Linde de "inflação caótica", realmente lembra sistemas caóticos mais familiares na Terra. Tome a preparação do mingau de aveia, por exemplo. A qualquer momento uma bolha de gás pode estourar na superfície, refletindo regiões onde o líquido a alta temperatura completa uma transição de fase para formar vapor. Mas, entre as bolhas, o mingau está se agitando e fluindo. Em grandes escalas há regularidade — sempre há bolhas

estourando em algum lugar. Em pequenas escalas, no entanto, as coisas são muito diferentes dependendo de para onde se olha. Isso também aconteceria em um Universo em inflação caótica. Se alguém estivesse em uma "bolha" de estado fundamental verdadeiro que parou de inflacionar, seu Universo pareceria muito diferente de grande parte do espaço em volta de si, que ainda estaria inflacionando.

Nesse quadro, a inflação é eterna. Algumas regiões, de fato a maior parte do espaço, continuarão a inflacionar para sempre. As regiões que saírem da inflação resultarão em Universos separados, casualmente desconectados. Ou seja, um multiverso é *inevitável* se a inflação for eterna, e a inflação eterna é, de longe, a possibilidade mais provável da maioria dos cenários inflacionários, se não de todos. Como Linde colocou, em seu trabalho de 1986:

> A velha questão do porquê nosso Universo ser o único possível é agora substituída pela possibilidade de existirem miniuniversos como o nosso. Essa questão ainda é muito difícil, mas é muito mais fácil que a anterior. A modificação do ponto de vista sobre a estrutura global do Universo e nosso lugar no mundo é uma das consequências mais importantes do desenvolvimento do cenário do Universo inflacionário.

Conforme Linde enfatizou, e desde então ficou esclarecido, esse quadro também fornece outra nova possibilidade para a física. Seria possível simplesmente existir muitos estados quânticos de baixa energia do Universo presentes na natureza a que um Universo inflacionário poderia, em última análise, decair. Como a configuração dos estados quânticos desses campos seria diferente em cada região, o caráter das leis fundamentais da física em cada região/Universo pode então parecer diferente.

Aqui surgiu o primeiro "panorama" em que o argumento antrópico, fornecido anteriormente, apareceria. Se existem muitos estados diferentes nos quais o Universo poderia terminar depois da inflação, talvez este em que vivemos, onde a energia de vácuo não zero é pequena o suficiente para que as galáxias possam ter se formado, seja apenas um de uma família potencialmente infinita, selecionado por cientistas curiosos porque sustenta galáxias, estrelas, planetas e vida.

O termo "panorama" não surgiu, no entanto, nesse contexto. Foi promovido por uma máquina de marketing muito mais eficaz associada ao rolo compressor que vem conduzindo a teoria de partículas durante grande parte dos últimos 25 anos: a teoria das Cordas. A teoria das Cordas postula que partículas elementares têm constituintes mais fundamentais, e não partículas, como objetos que se comportam como cordas que vibram. Assim como a vibração das cordas de um violino pode criar notas diferentes, nessa teoria, diferentes tipos de vibração produzem objetos que podem, em princípio, se comportar como todas as diferentes partículas elementares que encontramos na natureza. A pegadinha, no entanto, é que a teoria não é matematicamente consistente quando definida em meras quatro dimensões, exigindo mais dimensões para fazer sentido. O que acontece com as outras dimensões não fica óbvio de cara, tampouco a questão de quais outros objetos além das cordas podem ser importantes para definir a teoria — alguns dos muitos desafios não resolvidos que entorpeceram um pouco o entusiasmo inicial.

Não vamos aqui revisar minuciosamente a teoria das Cordas, o que talvez nem seja possível, porque se uma coisa ficou clara nos últimos 25 anos foi que o que antes foi chamado de teoria das Cordas é claramente algo muito mais elaborado e complicado, algo cuja natureza fundamental ainda é um mistério.

Ainda não sabemos se essa teoria impressionante tem a ver com o mundo real. Ainda assim, talvez nenhuma imagem teórica tenha permeado com tanto sucesso a consciência da comunidade científica sem ter nunca demonstrado sua habilidade de resolver com êxito um único mistério experimental sobre a natureza.

Muitas pessoas tomarão o que acabei de dizer como uma crítica à teoria das Cordas, mas, embora eu tenha fama de detrator, essa não é minha intenção aqui — tampouco fora nas numerosas palestras e debates públicos que tive com meu amigo Brian Greene, um dos principais proponentes dessa teoria. Pelo contrário, só acho importante cortar a comoção popular com um choque de realidade. A teoria das Cordas envolve ideias e matemática fascinantes que podem esclarecer uma das inconsistências mais fundamentais da física teórica: nossa incapacidade de lançar mão da relatividade geral de Einstein de forma que possa ser combinada com as leis da mecânica quântica

para resultar em previsões sensíveis sobre como o Universo se comporta em menores escalas.

Escrevi um livro sobre como a teoria das Cordas vem insistindo em contornar esse problema, mas, para nossos objetivos aqui, apenas um resumo é necessário. A proposta central é simples de formular, mas difícil de implementar. Em escalas muito pequenas, apropriadas à escala em que podemos encontrar problemas entre a gravitação e a mecânica quântica, cordas elementares podem se enrolar em circuitos fechados. Em meio a esses circuitos fechados sempre existe uma excitação que tem as propriedades da partícula que, na teoria quântica, transmite a força da gravidade: o gráviton. Assim, a teoria quântica das cordas fornece, a princípio, o campo no qual uma teoria quântica da gravitação verdadeira pode ser construída.

Foi descoberto que tal teoria poderia evitar as infinitas e vergonhosas previsões das abordagens quânticas para a gravitação. Porém, houve um contratempo. Na versão mais simplificada da teoria, as previsões podiam ser evitadas somente se as cordas que compõem as partículas elementares estivessem vibrando, não apenas nas quatro dimensões — três do espaço e uma do tempo — às quais estamos acostumados, mas em 26!

Tal salto de complexidade (e, talvez, de fé) seria suficiente para fazer com que a maioria dos físicos perdesse o entusiasmo pela proposta, mas, em meados dos anos 1980, um belo trabalho matemático desenvolvido em grupo — com destaque especial para Edward Witten, do Institute for Advanced Study — demonstrou que a teoria poderia fornecer muito mais que uma teoria quântica da gravitação. Com a introdução de novas simetrias matemáticas, principalmente uma estrutura poderosa e impressionante chamada "supersimetria", tornou-se possível reduzir o número de dimensões exigidas para a consistência da teoria para meras dez.

Mais importante, no entanto, era a possibilidade de, no contexto da teoria das Cordas, unificar a gravitação com as outras forças da natureza em uma única teoria e, ainda mais, explicar a existência de toda e cada partícula elementar conhecida. Finalmente, uma única teoria simples em dez dimensões reproduziria tudo o que vemos em nosso mundo quadridimensional.

Reivindicações quanto a uma "Teoria de Tudo" começaram a se propagar não só na literatura científica, mas no senso comum também. Como

resultado, talvez as pessoas se familiarizem mais com as "supercordas" do que com a "supercondutividade" — quando resfriados a baixas temperaturas, alguns materiais podem conduzir eletricidade sem resistência —, não só uma das propriedades mais impressionantes da matéria observadas a baixas temperaturas, mas também a responsável pela nossa compreensão da composição quântica dos materiais.

Infelizmente, os últimos 25 anos mais ou menos não foram tão dedicados à teoria das Cordas. Quando as melhores mentes teóricas do mundo lhe deram atenção, produzindo novos resultados e muita matemática no processo (Witten chegou a ganhar o maior prêmio na área, por exemplo), descobriram, afinal, que as "cordas" da teoria das Cordas não eram os objetos fundamentais. Outras estruturas mais complicadas, chamadas "branas" — nome que vem das "membranas" das células —, que existem em dimensões mais altas, é que provavelmente controlam o comportamento da teoria.

O pior é que a singularidade da teoria começou a desaparecer. Afinal, o mundo em que vivemos não tem dez dimensões, e sim quatro. Algo deve acontecer com as seis dimensões restantes, e a explicação canônica para sua invisibilidade é que elas são, de alguma forma, "compactadas" — ou seja, são enroladas em escalas tão pequenas que não conseguimos discerni-las em nossas escalas, ou mesmo nas menores experimentadas pelos aceleradores de partículas de maior energia.

Existe uma diferença entre esses domínios escondidos propostos e os domínios da espiritualidade e da religião, muito embora possam não parecer tão diferentes à primeira vista. Em primeiro lugar, os domínios científicos são acessíveis se alguém construir um acelerador suficientemente energético — além das fronteiras do praticamente certo, mas não além das fronteiras da possibilidade. Em segundo, pode-se esperar, como se espera das partículas virtuais, que seja encontrada uma evidência direta de sua existência por meio dos objetos que podemos medir no Universo quadridimensional. Em resumo, como as quatro dimensões foram propostas como parte de uma teoria desenvolvida para tentar explicar o Universo, em vez de justificá-lo, elas podem ser acessíveis aos testes empíricos, mesmo que sua probabilidade seja pequena.

Além disso, a possível existência dessas dimensões extras fornece um desafio enorme à esperança de que nosso Universo é único. Mesmo que se comece com uma única teoria em dez dimensões (que, repito, ainda não sabemos se existe), cada modo de compactar as seis dimensões invisíveis pode resultar em um tipo diferente de Universo quadridimensional, com leis da física diferentes, forças diferentes, partículas diferentes e governado por simetrias distintas. Alguns teóricos estimaram existir 10.500 Universos quadridimensionais diferentes que poderiam resultar de uma única teoria das Cordas de dez dimensões. Uma "Teoria de Tudo" de repente se tornou uma "Teoria de Qualquer Coisa"!

Essa situação foi exemplificada com sarcasmo em uma das minhas tirinhas científicas preferidas, a *xkcd*. Nessa tirinha, um personagem diz ao outro: "Acabei de ter uma ideia incrível: e se toda matéria e toda energia forem constituídas de pequenas cordas vibrantes?" O segundo personagem então responde: "Ok. E o que isso implicaria?" Ao que o primeiro diz: "Sei lá!"

Em uma nota menos brincalhona, o físico Frank Wilczek, ganhador do prêmio Nobel, sugeriu que os teóricos das cordas inventaram uma nova forma de fazer física que lembrava uma nova forma de jogar dardos. Joga-se o dardo contra uma parede branca, e então vai-se até a parede e faz-se o desenho de um alvo onde o dardo pousou.

Embora o comentário reflita o que vinha acontecendo, pode parecer muito mesquinho, porque, afinal, os teóricos estão tentando sinceramente descobrir princípios que podem governar o mundo em que vivemos. Ainda assim, a multiplicidade de Universos quadridimensionais possíveis, que costumava ser uma vergonha para os teóricos das cordas, agora tornou-se uma virtude. Em um "multiverso" com dez dimensões, pode-se incorporar uma série de Universos quadridimensionais possíveis (ou com cinco dimensões, ou seis, e assim por diante), e cada um pode abranger leis da física diferentes e, mais que isso, a energia do espaço vazio em cada um pode ser diferente.

Embora soe como uma interpretação, esta parece ser uma consequência automática da teoria, criando um "panorama" multiverso real para fornecer uma estrutura natural para o desenvolvimento de uma compreensão antrópica da energia do espaço vazio. Nesse caso, não precisamos de um número infinito de Universos possíveis separados no espaço tridimensional. Ao

contrário, um número infinito de Universos pode ficar empilhado em cima de um único ponto em nosso espaço, invisível para nós, mas capazes de exibir de forma impressionante diferentes propriedades.

Devo enfatizar que essa teoria não é tão trivial quanto o devaneio teológico de são Tomás de Aquino sobre a possibilidade de vários anjos ocuparem o mesmo lugar no espaço, uma ideia que mais tarde foi ridicularizada por teólogos com especulações infrutíferas sobre quantos anjos caberiam na ponta de uma agulha — ou, segundo a versão mais popular, na cabeça de um alfinete. São Tomás de Aquino respondeu a essa pergunta ele mesmo, dizendo que mais de um anjo não poderia ocupar o mesmo espaço — é claro, sem qualquer justificação teórica ou empírica! (E se eles fossem anjos quânticos bosônicos, ele estaria errado de qualquer forma.)

Diante de um quadro como esse, e com a matemática adequada, pode-se esperar, em princípio, fazer previsões físicas de fato. Por exemplo, pode-se derivar uma "distribuição de probabilidade" descrevendo a possibilidade de encontrar tipos diferentes de Universos quadridimensionais incorporados a um multiverso dimensional maior. Pode-se descobrir, por exemplo, que a maior parte desses Universos cuja energia de vácuo é menor também tem três famílias de partículas elementares e quatro forças diferentes. Ou pode-se descobrir que apenas em Universos com energia de vácuo pequena poderia existir uma força eletromagnética de longo alcance. Qualquer resultado poderia fornecer evidências razoavelmente convincentes de que uma explicação antrópica probabilística da energia do espaço vazio — em outras palavras, descobrir que um Universo que se parece com o nosso com pouca energia de vácuo não é improvável — faz muito sentido fisicamente falando.

No entanto, a matemática ainda não nos levou tão longe — e isso talvez nunca aconteça. Porém, apesar da impotência teórica atual, não significa que essa possibilidade não seja realizada pela natureza.

Ainda assim, nesse meio-tempo, a física de partículas fez com que o raciocínio antrópico desse um passo à frente.

A física de partículas está muito à frente da cosmologia. Esta produziu uma questão completamente misteriosa: a energia do espaço vazio, sobre a qual não sabemos quase nada. Por outro lado, a física de partículas não compreendeu muitas outras questões por muito mais tempo!

Por exemplo: por que existem três gerações de partículas elementares (o elétron e seus primos mais pesados, o múon e o tau, ou os três conjuntos diferentes de quarks dos quais os dois de menor energia correspondem a grande parte da matéria que encontramos na Terra)? Por que a gravidade é tão mais fraca que todas as outras forças da natureza, como o eletromagnetismo? Por que o próton é 2 mil vezes mais pesado que o elétron?

Alguns físicos de partículas agora levaram a onda antrópica ao extremo, talvez porque seus esforços para explicar esses mistérios por meio das causas físicas ainda não foram bem-sucedidos. Afinal, se uma quantidade fundamental na natureza é na verdade um acidente ambiental, por que a maioria dos outros parâmetros fundamentais não é? Talvez todos os mistérios da teoria de partículas possam ser resolvidos invocando o mesmo mantra: se o Universo fosse de qualquer outro jeito, não poderíamos viver nele!

A solução dos mistérios da natureza é mesmo uma solução ou, mais importante, ela descreve a ciência como nós a entendemos? Afinal, o objetivo da ciência e, em especial, da física, durante os últimos 450 anos tem sido explicar por que o Universo deve ser do jeito que medimos, e não por que, em geral, as leis da natureza produziriam Universos tão diferentes.

Venho tentando explicar por que não é exatamente esse o caso, ou seja, por que muitos cientistas respeitáveis se voltaram para o princípio antrópico e por que vários têm trabalhado para ver se podemos aprender algo de novo sobre o Universo baseado nele mesmo.

Deixe-me ir mais longe e tentar explicar como a existência de Universos não detectáveis — a uma distância praticamente infinita do espaço ou bem na ponta de nosso nariz, a uma distância microscópica em dimensões extras possíveis — pode, ainda assim, estar sujeita a algum tipo de experimento.

Imagine, por exemplo, que desenvolvemos uma teoria baseada em unificar pelo menos três das quatro forças da natureza em uma Grande Teoria Unificada, um tema de interesse contínuo e intenso na física de partículas (entre aqueles que não desistiram de procurar por teorias fundamentais em quatro dimensões). Tal teoria faria previsões sobre as forças da natureza e sobre o espectro de partículas elementares que examinamos nos aceleradores. Se ela fizesse uma série de previsões verificadas posteriormente por meio de

experimentos, teríamos razões muito boas para suspeitar de que contém um germe de verdade.

Agora, suponha que essa teoria também preveja um período de inflação no início do Universo e, de fato, que nossa época inflacionária seja apenas um de uma série desses episódios em um multiverso em inflação eterna. Mesmo que não pudéssemos explorar diretamente a existência dessas regiões além do nosso horizonte, então, como afirmei antes, se anda como pato e grasna como pato... Bem, você sabe.

Encontrar sustentação empírica para as dimensões extras é mais improvável, mas não impossível. Muitos jovens teóricos brilhantes vêm se dedicando ao desafio de desenvolver a teoria a ponto de haver alguma evidência, mesmo indireta, que seja correta. Suas esperanças podem estar mal-aplicadas, mas eles estão decididos. Talvez uma evidência do novo Grande Colisor de Hádrons revele uma janela, outrora escondida, para essa nova física.

Então, após um século de progresso sem precedentes em nossa compreensão da natureza, estamos aptos a avaliar o Universo em escalas antes inimagináveis. Compreendemos a natureza da expansão do Big Bang desde seus primeiros microssegundos e descobrimos a existência de centenas de bilhões de novas galáxias, com centenas de bilhões de novas estrelas. Descobrimos que 99% do Universo são, na verdade, invisíveis, dominados pela matéria escura, provavelmente uma nova forma de partícula elementar, e pela energia escura, cuja origem continua a ser um mistério completo.

E, depois de tudo isso, pode ser que a física se torne uma "ciência ambiental". As constantes fundamentais da natureza, suspeitas há tanto tempo de terem importância especial, podem ser apenas acidentes ambientais. Se nós, cientistas, tendemos a levar a nós mesmos e a nossa ciência a sério demais, talvez também estejamos levando o Universo a sério demais. Talvez, tanto literal quanto metaforicamente, estejamos fazendo muito barulho por nada. Pelo menos talvez estejamos fazendo muito barulho pelo nada que domina o Universo. Talvez ele seja como uma lágrima enterrada em um vasto oceano multiverso de possibilidades. Talvez nunca encontremos uma teoria que descreva por que ele tem que ser como é.

Ou talvez encontremos.

Esse é o quadro mais preciso da realidade como hoje a entendemos. É baseado no trabalho de dezenas de milhares de mentes dedicadas ao longo dos últimos cem anos, construindo as máquinas mais complexas e desenvolvendo as ideias mais belas e complexas com que a humanidade já teve de lidar. É um quadro cuja criação enfatiza o melhor sobre o que significa ser humano — a habilidade de imaginar as vastas possibilidades de existência e a aventura de explorá-las com bravura, sem passar a bola para uma força criativa vaga ou um criador, por definição, para sempre impenetrável. Devemos a nós mesmos tirar conhecimento dessa experiência. Não fazê-lo seria um desserviço a todos os indivíduos brilhantes e corajosos que nos ajudaram a alcançar nosso nível atual.

Se desejamos tirar conclusões filosóficas a respeito de nossa existência, nosso significado e o significado do Universo, as conclusões devem ser baseadas em conhecimento empírico. Ter uma mente realmente aberta significa forçar nossa imaginação a se conformar com a evidência da realidade, e não o contrário, quer gostemos, quer não das consequências.

9

Nada é alguma coisa

Não me importo de não saber. Isso não me assusta.

Richard Feynman

Isaac Newton, talvez o maior físico de todos os tempos, mudou profundamente e de diversas maneiras o modo como pensamos no Universo. Mas talvez sua contribuição mais importante tenha sido demonstrar a possibilidade de que o Universo é explicável. Com sua lei da gravitação universal, Newton demonstrou pela primeira vez que até mesmo os céus podem se dobrar ao poder das leis naturais. Um Universo estranho, hostil, ameaçador e aparentemente caprichoso pode não ser nada desse tipo.

Se leis imutáveis governassem o Universo, os deuses míticos das antigas Grécia e Roma teriam sido impotentes. Não teria havido liberdade que dobrasse o mundo de maneira tão arbitrária para criar problemas espinhosos para a humanidade. O que se aplicava para Zeus também se aplicaria para o Deus de Israel. Como o céu poderia ficar imóvel ao meio-dia se não seguisse sua órbita em torno da Terra, e seu movimento fosse causado na verdade pela revolução da Terra, que, se parasse de repente, produziria forças que destruiriam todas as estruturas humanas, e todos os humanos com elas?

É claro que atos sobrenaturais são o que constituem os milagres. Eles são, afinal de contas, exatamente essas coisas que burlam as leis da natureza. Um Deus que pode criar as leis da natureza também pode burlá-las. Mas o motivo pelo qual elas teriam sido dobradas com tamanha liberdade há milhares de

anos, antes que a invenção de instrumentos de comunicação modernos pudessem tê-las gravado, ainda é algo em que se pensar.

De qualquer forma, mesmo em um Universo sem milagres, quando se enfrenta uma ordem subjacente profundamente simples, podem-se tirar duas conclusões. Uma delas, elaborada pelo próprio Newton e defendida anteriormente por Galileu e outros cientistas no decorrer dos anos, era a de que tal ordem foi criada por uma inteligência divina, responsável não apenas pelo Universo, mas por nossa própria existência, e que nós, seres humanos, fomos criados à sua semelhança (e aparentemente outros seres belos e complexos não foram!). A outra conclusão é que as próprias leis são tudo o que existe. Elas exigem que o Universo venha a existir, a desenvolver-se e a evoluir, e que nós somos seu subproduto irrevogável. As leis podem ser eternas ou ter vindo a existir, de novo, por alguma causa ainda desconhecida, mas puramente física.

Filósofos, teólogos e, às vezes, cientistas continuam a debater essas possibilidades. Não sabemos com certeza qual deles descreve o Universo, e talvez nunca saibamos. Mas a questão é que, como enfatizei no início do livro, o árbitro final não virá da esperança, do desejo, da revelação ou do pensamento puro. Virá, se vier, da exploração da natureza. Sonho ou pesadelo, como Jacob Bronowski afirma na citação de abertura do livro — e o sonho de um pode facilmente ser o pesadelo de outro —, temos de viver nossa experiência como ela é e com os olhos abertos. O Universo é como é, quer gostemos, quer não.

E aqui, acho *extremamente significativo* um Universo que veio do nada — em um sentido que descreverei em detalhes —, que surge naturalmente e, mesmo inevitavelmente, é cada vez mais consistente com tudo que temos aprendido sobre o mundo. Esse aprendizado *não* veio de meditações filosóficas ou teológicas sobre a moralidade, ou de outras especulações sobre a condição humana. É, ao contrário, baseado nos desenvolvimentos impressionantes e animadores da cosmologia empírica e da física de partículas.

Retorno, então, à pergunta do início deste livro: "Por que existe algo em vez de nada?" Estamos agora em uma posição mais confortável para abordá-la, tendo revisado o quadro científico moderno do Universo, sua história e seu

possível futuro, assim como descrições operacionais do que o "nada" pode realmente compreender. Conforme também mencionei no início do livro, essa questão também tem sido abordada pela ciência, como todas as outras questões filosóficas do tipo. Longe de fornecer um quadro que exija a existência de um criador, o próprio significado das palavras envolvidas mudou tanto que a sentença perdeu muito de seu sentido original — algo que, novamente, não é incomum, conforme o conhecimento empírico lança uma nova luz a cantos outrora obscuros de nossa imaginação.

Ao mesmo tempo, na ciência temos de ser cuidadosos com perguntas do estilo "por que". Quando perguntamos "por que", geralmente queremos dizer "como". Se conseguimos responder à última, é o suficiente para nossos propósitos. Por exemplo: "Por que a Terra está a 150 milhões de quilômetros do Sol?" Ou seja, estamos interessados em saber quais processos físicos levaram a Terra a ocupar sua posição atual. "Por que" implicitamente sugere propósito, e, quando tentamos entender o sistema solar em termos científicos, geralmente não atribuímos propósito a ele.

Então, vou adaptar a pergunta para "como existe algo em vez de nada?". Perguntas de "como" são, na verdade, as únicas para as quais podemos fornecer respostas definitivas estudando a natureza, mas, como a frase soa muito estranha aos ouvidos, espero que você me perdoe se eu cair na armadilha de parecer discutir a formulação mais comum quando na verdade estou tentando responder à questão mais específica do "como".

Mesmo aqui, da perspectiva da *compreensão* verdadeira, essa questão do "como" em especial tem sido suplantada por uma série de questões operacionalmente mais fecundas, por exemplo: "O que pode ter produzido as propriedades do Universo que o caracterizam mais notavelmente no presente momento?", ou, talvez mais importante: "Como podemos descobrir?"

Aqui quero mais uma vez chutar o que eu gostaria que fosse um cachorro morto. Propor questões dessa forma permite a produção de novos conhecimentos e de uma nova compreensão. É o que as diferencia de questões puramente teológicas, que produzem as respostas de antemão. De fato, desafiei diversos teólogos a fornecer evidências que contradigam a premissa de que a teologia não fez nenhuma contribuição para o conhecimento nos últimos quinhentos anos, no mínimo, desde o alvorecer da ciência. Até hoje

ninguém apresentou um contraexemplo. O máximo que já obtive em resposta foi a pergunta: "O que você quer dizer com conhecimento?" De uma perspectiva epistemológica, essa pode ser uma questão espinhosa, mas acho que, se existisse uma alternativa melhor, alguém já a teria apresentado. Se eu tivesse lançado o mesmo desafio a biólogos, psicólogos, historiadores ou astrônomos, nenhum deles teria ficado tão desconcertado.

As respostas envolvem previsões teóricas que podem ser testadas por meio de experimentos para impulsionar nosso conhecimento operacional do Universo. Em parte por esse motivo, concentrei-me nessas questões fecundas até esse ponto do livro. Ainda assim, a questão do "algo que veio do nada" continua tendo popularidade e, por isso, precisa ser confrontada.

O trabalho de Newton reduziu dramaticamente o possível domínio das ações de Deus, queira você ou não atribuir qualquer racionalidade inerente ao Universo. As leis de Newton não só restringiram severamente a liberdade de ação de uma divindade, como também dispensaram diversas exigências pela intervenção sobrenatural. Newton descobriu que o movimento dos planetas ao redor do Sol não exige que eles sejam empurrados ao longo de suas órbitas, mas, em vez disso, e de forma não intuitiva, exige que sejam empurrados por uma força que age em direção ao Sol, dispensando a necessidade de anjos que serviam de guias para os planetas em seus caminhos. Embora o fato de dispensá-los desse trabalho tenha tido pouco impacto na crença das pessoas neles (pesquisas sugerem que muito mais pessoas acreditam em anjos nos Estados Unidos do que na evolução), o progresso da ciência desde Newton tem restringido ainda mais a manifestação da mão divina em sua implicada obra.

A evolução do Universo até os primeiros momentos do Big Bang pode ser descrita apenas com as já conhecidas leis da física, assim como o futuro do Universo. É claro que ainda há enigmas a serem desvendados, mas vou supor que os leitores deste livro não façam uso de uma interpretação do Deus das Lacunas, em que Deus é invocado sempre que se depararem com algo intrigante ou sem explicação. Até os teólogos reconhecem que esse recurso não apenas diminui a grandeza da entidade suprema, mas também faz com

que esse ser seja ignorado ou marginalizado sempre que trabalhos mais aprofundados explicam ou desvendam o enigma.

Nesse sentido, a discussão do "algo que veio do nada" realmente tenta se concentrar no ato original da criação e questiona se a ciência pode ser algum dia totalmente satisfatória em sua abordagem.

Acontece que, dada nossa compreensão atual da natureza, há três significados diferentes para a questão do "algo que veio do nada". A primeira resposta é "muito provavelmente sim", e devo discutir uma por uma no restante do livro, à medida que tento explicar por quê, ou, melhor ainda, como.

A navalha de Occam sugere que, se um acontecimento é fisicamente plausível, não precisamos recorrer a afirmações mais extraordinárias acerca de sua existência. É claro que a exigência de uma divindade todo-poderosa que de alguma forma exista fora do Universo, ou multiverso, enquanto ao mesmo tempo governa o que acontece dentro dele é uma dessas afirmações. No entanto, deveria ser uma afirmação de último recurso.

Já argumentei no prólogo que simplesmente definir o "nada" como "não ser" não é suficiente para sugerir que a física — e mais amplamente a ciência — não é adequada para abordar a questão. Deixe-me fornecer um argumento complementar mais específico. Considere um par pósitron-elétron que espontaneamente sai do espaço vazio perto do núcleo de um átomo e afeta a propriedade deste durante o curto tempo em que o par existe. Em que sentido o elétron ou o pósitron existia antes? Certamente, segundo qualquer definição sensível, não existia. Havia potencial para a existência, mas isso não define a *existência* — é como definir a existência de um ser humano pelo fato de eu ter esperma perto de uma mulher que está ovulando, e nós podermos acasalar. Na verdade, a melhor resposta que já ouvi para a pergunta de como seria estar morto (ou seja, não existir) é imaginar como era existir antes de ter sido concebido. De qualquer forma, se o potencial para existir fosse o mesmo que existir, tenho certeza de que a masturbação seria uma questão legal tão polêmica quanto o aborto.

O Projeto Origens, dirigido por mim e desenvolvido na Universidade do Arizona, realizou recentemente um *workshop* sobre a origem da vida, e não

consigo não ver o debate cosmológico atual segundo esse contexto. Não temos plena compreensão de como a vida se originou na Terra. No entanto, temos mecanismos químicos plausíveis para concebê-la, além de estarmos avançando na direção do surgimento natural de biomoléculas, incluindo o RNA. Mais do que isso, a evolução darwiniana, baseada na seleção natural, fornece uma imagem precisa e convincente de como a vida complexa surgiu seguindo a química específica que produziu as primeiras células fielmente autorreplicantes com um metabolismo que capturava energia do ambiente. (É a melhor definição de vida a que posso chegar neste momento.)

Assim como Darwin, embora não sem relutância, eliminou a necessidade da intervenção divina na evolução do mundo moderno, explicando a vida diversificada em todo o planeta (embora tenha deixado a porta aberta para a possibilidade de que Deus tenha ajudado a soprar a vida nas primeiras formas), nossa compreensão atual do Universo, seu passado e seu futuro, faz com que seja mais plausível a explicação de que "algo" possa ter surgido do nada sem a necessidade de qualquer orientação divina. Devido às dificuldades teóricas associadas a decifrar os detalhes, imagino que nunca possamos ser capazes de alcançar mais que plausibilidade a esse respeito. Mas a própria plausibilidade é um enorme passo à frente conforme continuamos a reunir coragem para viver vidas significativas em um Universo que provavelmente veio a existir — e pode vir a deixar de existir — sem propósito e certamente sem os seres humanos no centro.

Voltemos agora para uma das características mais impressionantes do Universo: ele está tão próximo de ser plano quanto podemos medir. Gostaria de lembrar-lhe da faceta única de um Universo plano, pelo menos em escalas em que é dominado pela matéria na forma de galáxias e em que uma aproximação newtoniana permanece válida: em um Universo plano, a energia gravitacional newtoniana média de todo objeto que participa da expansão é precisamente zero.

Enfatizo que esse é um postulado falsificável. Não precisava ser assim. Nada exigia isso, a não ser especulações teóricas baseadas em considerações de um Universo que poderia ter surgido naturalmente do nada, ou, no mínimo, de *quase nada*.

É importante levar em consideração que, uma vez que a gravitação é incluída em nossas especulações sobre a natureza, não há mais liberdade para definir arbitrariamente a energia total de um sistema, nem o fato de que há tanto contribuições positivas quanto negativas para essa energia. A determinação da energia gravitacional total de objetos carregados pela expansão do Universo *não* é sujeita a uma definição arbitrária, não mais que a curvatura geométrica do Universo é questão de definição. É propriedade do próprio espaço, de acordo com a relatividade geral, e essa propriedade é determinada pela energia contida nele.

Digo isso porque já se argumentou que a afirmação de que a energia gravitacional newtoniana total média de cada galáxia em um Universo plano e em expansão é zero é arbitrária e que qualquer outro valor seria da mesma forma satisfatório, mas que cientistas "definem" o zero para argumentar contra Deus. Assim afirmou Dinesh D'Souza em seus debates com Christopher Hitchens sobre a existência de Deus.

Nada poderia estar mais longe da verdade. O esforço em delimitar a curvatura do Universo foi um empreendimento realizado por mais de meio século por cientistas que devotaram suas vidas a determinar a natureza real do Universo, e não a impor seus desejos sobre ele. Mesmo muito depois dos primeiros argumentos teóricos quanto ao motivo pelo qual ele deveria ser plano, meus colegas observadores, durante os anos 1980 e 1990, continuaram inclinados a provar o contrário. Pois, afinal de contas, o maior impacto (e frequentemente as maiores manchetes) na ciência é atingido ao não seguir o rebanho, mas resistindo a ele.

Ainda assim, os dados têm se mostrado definitivos, e já chegamos à última palavra. Nosso Universo observável está tão próximo de ser plano quanto podemos medir. A energia gravitacional newtoniana de galáxias que se movem com a expansão Hubble *é* zero — goste ou não.

Gostaria de descrever como, se o Universo surgiu do nada, um Universo plano, com energia gravitacional newtoniana total igual a zero para cada objeto, é exatamente o que achamos. O argumento é um pouco sutil — mais sutil do que minhas explicações menos técnicas sobre o assunto —, então estou feliz por ter a oportunidade de ser mais claro.

Primeiro, quero esclarecer o tipo de "nada" a que estou me referindo no momento. A versão mais simples do nada é o chamado espaço vazio. Por enquanto, suponhamos que o espaço exista, com absolutamente nada dentro dele, assim como as leis da física. Mais uma vez, entendo que essa proposta não sirva nas redenominações do nada feitas por quem nunca quer que uma definição científica seja prática. No entanto, suspeito que, no tempo de Platão e são Tomás de Aquino, quando se pensava em haver algo em vez de nada, o espaço vazio com nada dentro era provavelmente uma boa aproximação na época.

Como vimos no capítulo 6, Alan Guth explicou com precisão como podemos obter algo desse tipo de nada: o chamado "derradeiro almoço grátis". O espaço vazio pode ter uma energia diferente de zero associada a ele, mesmo na ausência de matéria ou radiação. A relatividade geral prova que o espaço se expandirá de forma exponencial, mesmo que as menores regiões em tempos remotos possam englobar rapidamente um tamanho maior o suficiente para conter o Universo visível inteiro atualmente.

Como também descrevi anteriormente, durante essa expansão, a região que um dia englobará o Universo ficará cada vez mais plana mesmo que a energia contida no espaço vazio cresça conforme o Universo. Esse fenômeno acontece sem mágica ou intervenção divina. É possível porque a "pressão" gravitacional associada à energia no espaço vazio é, na verdade, negativa. A "pressão negativa" implica que, à medida que o Universo se expande, a expansão despeja energia *dentro* do espaço, e não o contrário.

De acordo com esse quadro, quando a inflação termina, a energia armazenada no espaço vazio é transformada em energia de partículas e radiação reais, criando, de fato, o início rastreável da atual expansão provocada pelo Big Bang. É um início rastreável porque a inflação, na verdade, apaga qualquer memória do estado do Universo antes mesmo de ele ter se iniciado. Todas as complexidades e irregularidades nas grandes escalas iniciais (se o Universo inicial preexistente, ou metaverso, era grande, mesmo infinitamente grande) são suavizadas e/ou carregadas tão para longe de nosso horizonte atual que sempre observaremos um Universo quase uniforme após a ocorrência de uma expansão inflacionária considerável.

Digo "quase uniforme" porque também descrevi no capítulo 6 como a mecânica quântica sempre deixará algumas flutuações residuais e de pequena densidade congeladas durante a inflação. Isso acarreta a segunda implicação surpreendente da inflação: flutuações de pequena densidade no espaço vazio consequentes de regras de mecânica quântica mais tarde serão responsáveis por toda a estrutura observável no Universo hoje. Então, nós, e tudo o que é visível, resultamos de flutuações quânticas naquilo que é essencialmente o nada próximo ao início dos tempos, ou seja, durante a expansão inflacionária.

Depois que a poeira baixar, a configuração genérica da matéria e da radiação será a de um Universo essencialmente plano, no qual a energia gravitacional newtoniana média de todos os objetos parecerá ser zero. Esse sempre será o caso, a não ser que se ajuste cuidadosamente a quantidade de inflação.

Então, o Universo observável pode começar como uma região do espaço muito pequena, que pode ser essencialmente vazia e ainda assim crescer a escalas enormes, talvez contendo muita matéria e radiação, tudo sem gastar uma gota de energia, pois a matéria e a radiação serão suficientes para explicar tudo o que vemos.

O ponto mais importante neste breve resumo da dinâmica inflacionária é que algo pode surgir do espaço vazio *exatamente* porque a energia do espaço vazio, na presença de gravidade, não é o que o senso comum sugerira antes de termos descoberto as leis subjacentes da natureza.

No entanto, ninguém nunca afirmou que o Universo é guiado por aquilo que nós, na nossa miopia acerca do espaço e do tempo, pensávamos ser sensato. Parece prudente imaginar que, *a priori*, a matéria não pode surgir do espaço vazio de forma espontânea. Então algo, nesse sentido, também não pode surgir do nada. Porém, quando acatamos a dinâmica da gravitação e a mecânica quântica, descobrimos que essa noção do senso comum não é verdadeira. Essa é a *beleza* da ciência, e ela não deveria ser uma ameaça. A ciência simplesmente nos força a revisar o que é sensato para acomodar o Universo, e não o contrário.

Para resumir: a observação de que o Universo é plano e que a energia gravitacional newtoniana local é essencialmente zero sugere que ele surgiu por meio de um processo como o da inflação, segundo o qual a energia do

espaço vazio (nada) é convertida na energia de algo, em uma época em que o Universo é cada vez mais impulsionado a ser plano em todas as escalas observacionais.

Embora a inflação demonstre como o espaço vazio dotado de energia pode mesmo criar tudo o que vemos, junto com um Universo incrivelmente grande e plano, seria hipócrita sugerir que esse espaço vazio que impulsiona a inflação é, na verdade, nada. Com isso, devemos supor que o espaço existe e pode armazenar energia, e que usamos as leis da física, como a relatividade geral, para calcular as consequências. Então, se pararmos por aqui, poderemos afirmar que a ciência moderna está muito longe de realmente obter uma maneira de conseguir algo a partir do nada. Este é apenas o primeiro passo, no entanto. À medida que expandimos nossa compreensão, veremos, na sequência, que a inflação pode representar meramente a ponta de um iceberg cósmico de nada.

10

O NADA É INSTÁVEL

Fiat justitia — ruat caelum.

(Faça-se a justiça, mesmo que desabem os céus.)

Antigo provérbio romano

A EXISTÊNCIA DE ENERGIA NO ESPAÇO VAZIO — a descoberta que abalou nosso Universo cósmico e a ideia que forma a base da inflação — apenas reforça algo sobre o mundo quântico que já estava bem-estabelecido no contexto dos tipos de experimentos de laboratório que também já descrevi antes. O espaço vazio é complicado. É uma mistura em ebulição de partículas virtuais que passam a existir e desaparecem em um período de tempo tão curto que não conseguimos distingui-las.

Partículas virtuais são manifestações de uma propriedade básica dos sistemas quânticos. No cerne da mecânica quântica está uma regra que às vezes governa políticos e CEOs — se ninguém estiver olhando, vale tudo. Os sistemas continuam a se mover, mesmo que apenas por alguns momentos, entre todos os estados possíveis, incluindo os que não seriam permitidos se o sistema estivesse sendo mesmo medido. Essas "flutuações quânticas" implicam algo essencial sobre esse assunto: o *nada* é instável. Nada sempre produz algo, mesmo que apenas por um instante.

É aí que mora o problema. A conservação de energia afirma que sistemas quânticos podem se comportar mal apenas por um tempo. Como corretores fraudulentos, se o estado para o qual um sistema flutua exige furtar energia do

espaço vazio, então o sistema deve devolver essa energia em um tempo curto o suficiente para que ninguém que meça o sistema possa detectá-la.

Como resultado, pode-se supor que esse "algo" produzido por flutuações quânticas é efêmero — não mensurável, diferente, digamos, de você, de mim ou do planeta em que vivemos. Ao mesmo tempo, essa criação efêmera está sujeita às circunstâncias associadas às nossas medições. Por exemplo, considere o campo elétrico que emana de um objeto carregado. Ele é definitivamente real. Você pode sentir a força eletrostática em seus cabelos ou ver um balão grudar na parede. No entanto, a teoria quântica do eletromagnetismo sugere que o campo estático se deve à emissão, pelas partículas carregadas envolvidas na produção do campo, de fótons virtuais cuja energia total é essencialmente igual a zero. Essas partículas virtuais, porque têm energia zero, podem se propagar pelo Universo sem desaparecer, e o campo gerado pela superposição de muitas delas é tão real que pode ser sentido.

Às vezes as condições são tais que partículas reais e massivas podem mesmo surgir do espaço vazio impunemente. Em um exemplo, dois pratos carregados são aproximados, e quando o campo elétrico fica bem forte entre eles torna-se eletricamente favorável para que um par partícula-antipartícula surja do vácuo, com a carga negativa indo em direção ao prato positivo e a positiva em direção ao negativo. Assim, é possível que a redução da energia que surge da redução da carga líquida em cada um dos pratos — e, portanto, o campo elétrico entre eles — seja maior que a energia associada à massa restante das duas partículas. É claro, a força do campo tem de ser enorme para que tal condição seja possível.

Na verdade, existe um lugar onde campos fortes de um tipo diferente podem permitir que um fenômeno similar ocorra — mas, nesse caso, devido à gravitação. Isso fez com que Stephen Hawking ficasse famoso em 1974, quando demonstrou ser possível que buracos negros — dos quais, na ausência de quaisquer considerações mecânicas quânticas, nada pode escapar — de fato irradiem partículas físicas.

Existem muitas maneiras de tentar entender esse fenômeno, mas uma em particular apresenta enorme semelhança com a situação dos campos elétricos descrita há pouco. Fora do núcleo dos buracos negros há um raio chamado "horizonte de eventos". Dentro dele, nenhum objeto pode sair normalmente,

porque a velocidade de escape excede a velocidade da luz. Assim, até mesmo a luz emitida dentro dessa região não conseguirá sair do horizonte de eventos.

Agora, imagine que um par partícula-antipartícula forme um núcleo a partir do espaço vazio perto do horizonte de eventos por meio de flutuações quânticas nessa região. É possível que, se uma das partículas cair dentro do horizonte de eventos, ela perca energia gravitacional suficiente ao cair no buraco negro para que sua energia exceda em duas vezes o restante da massa de qualquer partícula. Ou seja, a partícula parceira pode cair em um poço sem fundo e se tornar observável sem qualquer violação da conservação de energia. A energia positiva total associada à partícula de radiação é mais que compensada pela perda de energia vivenciada por sua partícula parceira ao cair no buraco negro. O buraco negro pode então irradiar partículas.

A situação é ainda mais interessante porque a energia perdida pela partícula que cai é maior que a energia positiva associada à sua massa em repouso. Como resultado, quando ela cai, o sistema do buraco negro somado à partícula tem menos energia do que antes de a partícula cair! O buraco negro, então, na verdade fica *mais leve* após a partícula ter caído nele em uma quantidade equivalente à energia carregada pela partícula que escapa. O buraco negro também pode irradiar-se por completo. Quanto a isso, nós não sabemos, porque os estágios finais da evaporação dele envolvem a física em escalas de distância tão pequenas que a relatividade geral sozinha não consegue dar a resposta final. Nessas escalas, a gravitação pode ser tratada como uma teoria da mecânica quântica, e a compreensão atual da relatividade geral não é suficiente para permitir que determinemos com precisão o que irá acontecer.

Ainda assim, todos esses fenômenos implicam que, sob as condições certas, o nada não só pode se tornar algo, como é exigido que se torne.

O primeiro exemplo cosmológico que conheço para explicar o fato de que o "nada" pode ser instável e formar algo vem de esforços para entender por que vivemos em um Universo de matéria.

Talvez você não acorde pensando nisso, mas o fato de o Universo conter matéria é impressionante. O mais impressionante é que, até onde podemos avaliar, o Universo não contém quantidades substanciais de antimatéria — cuja existência é exigida pela mecânica quântica e pela relatividade, já que, para

cada partícula que conhecemos na natureza, pode existir uma antipartícula equivalente, com carga oposta e massa igual. Qualquer Universo, em seu início, pode-se pensar, conteria quantidades iguais dos dois. Afinal, as antipartículas de partículas normais têm a mesma massa e propriedades similares, então, se as partículas foram criadas em tempos remotos, seria igualmente fácil criar as antipartículas.

Como alternativa, poderíamos até mesmo imaginar um Universo de antimatéria no qual todas as partículas que formam as estrelas e as galáxias fossem substituídas pelas antipartículas correspondentes. Tal Universo pareceria ser quase idêntico a este em que vivemos. Observadores (eles próprios feitos de antimatéria) sem dúvida chamariam a nossa antimatéria de matéria. O nome é arbitrário.

No entanto, se o Universo, em seu início, contivesse quantidades iguais de matéria e antimatéria, e se essas quantidades tivessem se mantido, não estaríamos aqui para perguntar "por que" ou "como": todas as partículas da matéria teriam acabado com todas as partículas de antimatéria, deixando nada mais que radiação pura. Não teria sobrado nenhuma matéria ou antimatéria para formar as estrelas, ou as galáxias, ou para formar os amantes ou antiamantes que poderiam um dia sair e ficar excitados ao ver o espetáculo do céu noturno nos braços um do outro. Nada de drama. A história consistiria do vazio, um banho de radiação que esfriaria lentamente, levando a um Universo frio, escuro e oco. O nada reinaria supremo.

Os cientistas começaram a entender, nos anos 1970, no entanto, que havia a possibilidade de o início se dar com quantidades iguais de matéria e antimatéria em um Big Bang quente e denso, e que processos quânticos plausíveis poderiam "criar algo a partir do nada" estabelecendo uma pequena simetria, com um pequeno excesso de matéria e antimatéria no Universo inicial. Então, em vez da aniquilação total da matéria e da antimatéria, levando a nada além da radiação pura, toda a antimatéria disponível no Universo inicial poderia ter aniquilado a matéria, mas o pequeno excesso de matéria não teria quantidade comparável de antimatéria para aniquilá-la, sobrando e fazendo com que toda a matéria formasse as estrelas e as galáxias que vemos hoje.

Como resultado, o que poderia do contrário parecer uma realização ínfima — estabelecer uma pequena simetria no início dos tempos — pode ser

considerado quase o momento da criação. Porque, uma vez que uma assimetria entre matéria e antimatéria fosse criada, nada poderia depois acabar com ela. A história futura de um Universo cheio de estrelas e galáxias foi essencialmente escrita. Partículas de antimatéria aniquilariam as partículas de matéria no início do Universo, e o excesso de partículas de matéria sobreviveria até hoje, estabelecendo a essência do que conhecemos.

Mesmo que a assimetria fosse de uma parte em 1 bilhão, ainda haveria matéria restante suficiente para corresponder a tudo o que podemos ver no Universo. Na verdade, uma assimetria de uma parte em 1 bilhão, mais ou menos, é precisamente o necessário, já que hoje existem cerca de 1 bilhão de fótons no fundo cósmico de micro-ondas para cada próton do Universo. Os fótons de RCFM são os remanescentes, nessa situação, das aniquilações matéria-antimatéria ocorridas perto do início dos tempos.

Falta uma descrição definitiva de como esse processo poderia ter acontecido, pois ainda não estabelecemos completa e empiricamente a natureza detalhada do mundo microscópico nas escalas em que provavelmente essa assimetria poderia ter sido gerada. Ainda assim, diversos cenários plausíveis vêm sendo explorados com base nas melhores ideias a respeito dessa física. Embora difiram nos detalhes, todas têm as mesmas características gerais. Processos quânticos associados a partículas elementares no banho de calor primordial podem inexoravelmente levar um Universo vazio (ou um Universo a princípio simétrico matéria-antimatéria) quase imperceptivelmente em direção a um que será dominado pela matéria ou pela antimatéria.

Se essas hipóteses estiverem corretas, foi, então, apenas um acidente circunstancial o fato de ele ter sido dominado pela matéria? Imagine estar no topo de uma montanha e tropeçar. A direção em que você vai cair não foi preordenada, mas, sendo um acidente, vai depender da direção para onde você estava olhando, ou de que ponto você tropeçou. Talvez, de forma semelhante, o Universo seja assim, e mesmo que as leis da física sejam fixas, a direção definitiva da assimetria entre matéria e antimatéria foi impulsionada por uma condição inicial randômica (assim como, no caso de tropeçar e cair, a lei da gravitação é fixa e determina a sua queda, mas a direção pode ser um acidente). Mais uma vez, nossa própria existência, nesse caso, pode ser um acidente ambiental.

Independentemente dessa incerteza, no entanto, é impressionante que uma característica das leis subjacentes da física possa permitir que processos quânticos distanciem o Universo de um estado inexpressivo. O físico Frank Wilczek, um dos primeiros teóricos a explorar essas possibilidades, utilizou, no artigo que escreveu em 1980 para a revista *Scientific American* sobre a assimetria matéria-antimatéria do Universo, exatamente a mesma linguagem que usei antes neste capítulo. Após descrever como uma assimetria matéria-antimatéria poderia ser gerada de forma plausível no início do Universo baseada em nosso novo entendimento da física de partículas, ele acrescentou uma nota dizendo que isso possibilitava pensar sobre a questão de existir algo em vez de nada: o *nada* é instável.

Frank enfatizou que o excesso de matéria sobre a antimatéria parecia, em um primeiro momento, um obstáculo para imaginar um Universo originado de uma instabilidade no espaço vazio, o nada produzindo um Big Bang. Mas, se essa assimetria pudesse surgir dinamicamente depois do Big Bang, essa barreira seria removida, como ele escreveu:

> Pode-se especular que o Universo teve início no estado mais simétrico possível e que em tal estado nenhuma matéria existia; o Universo era um vácuo. Existia um segundo estado, e nele a matéria existia. O segundo estado tinha um pouco menos de simetria, mas também tinha menos energia. Em dado momento, um trecho de fase menos simétrica apareceu e cresceu rapidamente. A energia liberada pela transição encontrou forma na criação de partículas. Esse acontecimento poderia ser identificado com o Big Bang... A resposta à antiga pergunta "Por que existe algo em vez de nada?" seria que o "nada" é instável.

Antes de seguir em frente, no entanto, preciso lembrar as similaridades entre a discussão que acabei de apresentar a respeito de uma assimetria matéria-antimatéria e as discussões do recente *workshop* do projeto Origens, que explorou a compreensão atual da natureza da vida no Universo e sua origem. Minhas palavras eram diferentes, mas as questões fundamentais são muito similares. Que processos físicos específicos nos primeiros momentos da história da Terra poderiam ter levado à criação das primeiras biomoléculas e metabolismos replicáveis? Como nos anos 1970, a última década assistiu a um progresso incrível. Descobrimos caminhos orgânicos naturais, por exemplo, que poderiam produzir, sob condições plausíveis, ácidos ribonucleicos, os

quais há muito se pensava serem os precursores do mundo moderno baseado no DNA. Até recentemente havia a sensação de que nenhum desses caminhos diretos era possível e que outras formas intermediárias deveriam ter um papel fundamental.

Atualmente, poucos bioquímicos e biólogos moleculares duvidam que a vida possa ter surgido naturalmente da não vida, embora os detalhes ainda não tenham sido descobertos. Mas, depois de ter discutido sobre tudo isso, outra interpretação permeava as entrelinhas: a vida que se formou inicialmente na Terra *teve* de ter a química que tiveram, ou existem outras possibilidades igualmente viáveis?

Einstein uma vez fez uma pergunta que, segundo ele, era a única coisa que realmente queria saber sobre a natureza. Admito que é a pergunta mais profunda e fundamental cuja resposta muitos de nós gostaríamos de saber. Ele a formulou da seguinte maneira: "O que eu quero saber é se *Deus* [sic] teve alguma escolha na criação do Universo."

Comento isso porque o Deus de Einstein não era o Deus da Bíblia. Para ele, a existência de ordem fornecia um sentimento de admiração tão profundo que sentia um apego espiritual para com o Universo, apego ao qual chamou, motivado por Espinosa, de "Deus". De qualquer forma, o que o físico realmente quis dizer com essa pergunta foi a questão que acabei de descrever em outros contextos: as leis da natureza são únicas? E o Universo que habitamos, resultante dessas leis, é único? Se trocássemos um aspecto, uma constante, uma força, ainda que pequena, o edifício inteiro desmoronaria? Em um sentido biológico, a vida é única? Somos únicos no Universo? Voltaremos a essa questão importantíssima mais adiante.

Embora essa discussão faça com que refinemos e generalizemos noções de "nada" e "algo", quero voltar e dar um passo intermediário na defesa da criação inevitável do algo.

Como defini até aqui, o "nada" relevante a partir do qual nosso algo observável surge é o "espaço vazio". No entanto, uma vez que permitimos a fusão da mecânica quântica e da relatividade geral, podemos estender essa discussão ao caso em que o próprio espaço é forçado a existir.

A relatividade geral como teoria da gravitação é, em sua essência, uma teoria de espaço e tempo. Como descrevi na primeira página do livro, isso

significa que foi a primeira teoria que pôde abordar não apenas a dinâmica dos objetos em movimento pelo espaço, mas também a maneira como o próprio espaço se expande.

Ter uma teoria quântica da gravitação significaria, então, que as regras da mecânica quântica se aplicariam às propriedades do espaço, e não apenas às propriedades dos objetos existentes no espaço, como se costuma pensar.

Estender a mecânica quântica para incluir essa possibilidade é perigoso, mas o formalismo que Richard Feynman desenvolveu, que levou à compreensão moderna da origem de antipartículas, é adequada para a tarefa. Os métodos de Feynman se concentram no fato-chave ao qual aludi no início deste capítulo: sistemas de mecânica quântica exploram todas as trajetórias possíveis, até mesmo as classicamente proibidas, uma vez que se expandem no tempo.

A fim de explorar melhor isso, Feynman desenvolveu um "formalismo da soma sobre os caminhos" para fazer previsões. Nesse método, consideramos todas as trajetórias possíveis que uma partícula pode percorrer entre dois pontos. Então atribuímos uma probabilidade para cada uma, baseada em princípios bem-definidos da mecânica quântica. Em seguida juntamos todos os caminhos para determinar as (prováveis) previsões finais para o movimento de partículas.

Stephen Hawking foi um dos primeiros cientistas a atribuir plenamente essa ideia à mecânica quântica possível do espaço-tempo (a união do espaço tridimensional e uma dimensão do tempo para formar um sistema espaço-tempo quadridimensional unificado, conforme exigido pela teoria da Relatividade Especial de Einstein). O mérito dos métodos de Feynman era que se concentrar em todos os caminhos possíveis acabava significando que os resultados poderiam ser apresentados para serem independentes dos rótulos de espaço e tempo específicos que se aplicam em cada ponto e em cada caminho. Como a relatividade afirma que observadores diferentes em movimento relativo medirão distância e tempo de forma diferente e, assim, atribuirão valores diferentes para cada ponto no espaço e no tempo, ter um formalismo independente dos rótulos diferentes que observadores diferentes podem atribuir a cada ponto no espaço e no tempo é especialmente útil.

E sua utilidade talvez seja ainda maior em considerações sobre a relatividade geral, em que a rotulagem de pontos no espaço e no tempo se torna completamente arbitrária — observadores diferentes em pontos diferentes de um campo gravitacional chegaram até a medir distâncias e tempos de modos diferentes —, e tudo o que finalmente determina o comportamento de sistemas sejam quantidades geométricas, como a curvatura, que descobriu-se ser independente de todos esses esquemas.

Como já mencionado, a relatividade geral não entra completamente em acordo com a mecânica quântica, pelo menos até onde podemos afirmar, e, assim, não há nenhum método plenamente inequívoco de definir a técnica da soma sobre os caminhos de Feynman na relatividade geral. Então, temos que fazer algumas suposições *a priori* baseadas na plausibilidade e checar para ver se os resultados fazem sentido.

Se consideramos a dinâmica quântica do espaço e do tempo, devemos imaginar que, nas "somas" de Feynman, deve-se ter em conta cada configuração distinta possível que possa descrever as diferentes geometrias possíveis que o espaço pode adotar durante os estágios intermediários de qualquer processo, quando a indeterminação quântica reina suprema. Isso significa que devemos considerar espaços arbitrariamente curvos no decorrer de distâncias curtas e períodos curtos (tão curtos que não podemos medi-los para que a esquisitice quântica possa reinar livre). Essas configurações estranhas não seriam, então, observadas por grandes observadores clássicos como nós quando tentamos medir as propriedades do espaço no decorrer de distâncias e tempos longos.

Mas consideremos possibilidades ainda mais estranhas. Na teoria quântica do eletromagnetismo, as partículas podem surgir e sumir do espaço vazio à vontade, desde que sumam novamente em um período de tempo determinado pelo Princípio da Incerteza. Por analogia, então, na soma quântica de Feynman sobre configurações possíveis de espaço-tempo, deveria ser considerada a possibilidade de espaços pequenos possivelmente compactos que surgem e desaparecem? De modo mais geral: e quanto a espaços que podem ter "buracos" ou "alças" como rosquinhas embebidas no espaço-tempo?

Essas questões estão em aberto. No entanto, a menos que se possa pensar em uma boa razão para excluir tais configurações da soma da mecânica quântica que determina as propriedades do Universo em expansão — atualmente, que eu saiba, não existem boas razões —, então, sob o princípio geral que engloba tudo o que conheço na natureza — a saber, tudo o que não é proibido pelas leis da física —, parece razoável considerar essas possibilidades.

Como Stephen Hawking enfatizou, uma teoria quântica da gravitação permite a criação, talvez momentânea, do próprio espaço onde nada existia antes. Embora, em seu trabalho científico, ele não estivesse tentando desvendar o enigma do "algo que surgiu do nada", isso é o que a gravitação quântica pode finalmente abordar.

Universos "virtuais" — ou seja, os pequenos espaços compactos possíveis que podem surgir e desaparecer em uma escala de tempo tão curta que não podemos medi-los diretamente — são construções teóricas fascinantes, mas não parecem explicar como algo pode surgir do nada, não mais que as partículas virtuais que povoam o espaço antes vazio.

No entanto, um campo elétrico real diferente de zero, observável a grandes distâncias da partícula carregada, pode resultar da emissão coerente de muitos fótons virtuais de energia igual a zero pela carga. Isso se deve ao fato de que fótons virtuais que carregam energia zero não violam a conservação de energia quando emitidos. O Princípio da Incerteza de Heisenberg, então, não os obriga a existir apenas durante curtos espaços de tempo antes que sejam reabsorvidos e desapareçam novamente no nada. (Mais uma vez, o Princípio da Incerteza de Heisenberg afirma que a incerteza com a qual medimos a energia de uma partícula, e, portanto, a possibilidade de essa energia mudar levemente com a emissão e a absorção de partículas virtuais, é inversamente proporcional à duração do tempo durante o qual a observamos. Assim, partículas virtuais que carregam energia zero podem fazê-lo com impunidade — ou seja, podem existir durante tempos arbitrariamente longos e viajar distâncias arbitrariamente longas antes de serem absorvidas, levando à existência possível de interações de longo alcance entre partículas carregadas. Se o fóton não tivesse massa zero, de modo que fótons sempre carregassem energia diferente de zero devido a uma massa de repouso, o Princípio da

Incerteza de Heisenberg implicaria que o campo elétrico seria de curto alcance porque os fótons poderiam se propagar apenas por intervalos curtos sem serem reabsorvidos.

Um argumento similar sugere um tipo específico de Universo que pode aparecer espontaneamente e não precisa desaparecer por causa das restrições do Princípio da Incerteza e da conservação de energia. Ou seja, um Universo compacto com energia total igual a zero.

Agora, preciso sugerir que esse é exatamente o Universo em que vivemos. Parece ser a saída mais conveniente, mas estou mais interessado, aqui, em ser verdadeiro com nossa compreensão atual do que em montar um caso aparentemente fácil e convincente para a criação a partir do nada.

Argumentei, espero que de modo convincente, que a energia gravitacional newtoniana média de cada objeto no Universo plano é igual a zero. E é. Mas essa não é a história completa. A energia gravitacional não é a energia total de qualquer objeto. A ela devemos adicionar a energia de repouso, associada à massa de repouso. Em outras palavras, como já descrevi, a energia gravitacional de um objeto em repouso, isolado de todos os outros objetos por uma distância infinita, é zero, pois se está em repouso, não tem energia cinética de movimento e, se está definitivamente longe de todas as outras partículas, a força gravitacional nele através das outras partículas, que poderiam fornecer energia potencial para realizar trabalho, também é essencialmente zero. No entanto, como Einstein provou, sua energia total não se deve meramente à gravitação, mas também inclui a energia associada à sua massa, ou, como é bem conhecido, $E = mc^2$.

Para levar essa energia de repouso em conta, temos de partir da gravitação newtoniana para a relatividade geral, que, por definição, incorpora os efeitos da relatividade especial (e $E = mc^2$) a uma teoria da gravitação. E aqui as coisas ficam mais sutis e mais confusas. Em escalas pequenas comparadas à curvatura possível de um Universo — e contanto que todos os objetos dessas escalas estejam em movimento lento se comparados à velocidade da luz —, a versão relativista geral da energia reverte para a definição de Newton. No entanto, uma vez que essas condições não valem mais, a coisa muda de figura, ou quase.

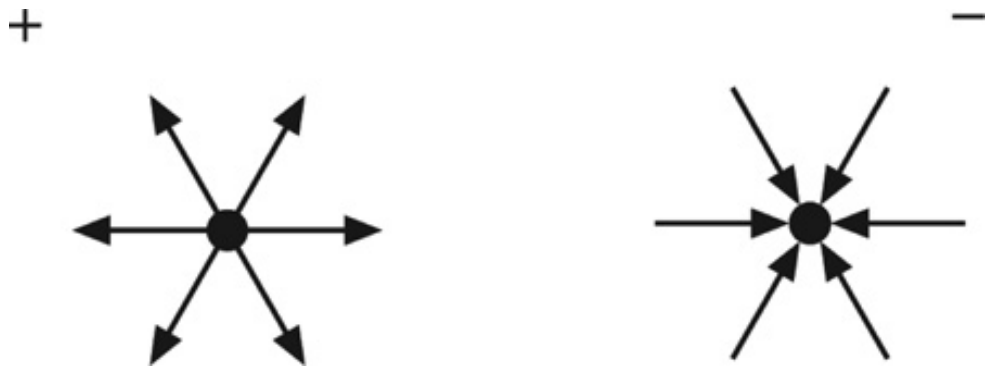
Parte do problema se deve ao fato de que a energia que consideramos em outros campos da física não é um conceito bem definido em largas escalas em um Universo curvo. Maneiras diferentes de definir sistemas coordenados para descrever os diferentes rótulos que diferentes observadores podem atribuir a pontos no espaço e no tempo (chamados de "quadros de referência") podem levar, em largas escalas, a diferentes determinações da energia total do sistema. Para acomodar esse efeito devemos generalizar o conceito de energia, e, mais que isso, se quisermos definir a energia total contida em qualquer Universo, precisamos pensar em como somar a energia em Universos que podem ser infinitos em extensão espacial.

Há muita discussão quanto a como fazer isso com precisão. A literatura científica está repleta de alegações e contra-alegações a esse respeito.

Uma coisa é certa, no entanto: existe um Universo no qual a energia total é definitiva e precisamente zero. Não é um Universo plano, que, em princípio, é infinito em extensão espacial, e, assim, o cálculo da energia total se torna problemático. É um Universo fechado, no qual a densidade da matéria e da energia é suficiente para fazer com que o espaço se feche em si. Como descrevi, em um Universo fechado, se você olhar longe o bastante em uma direção, uma hora conseguirá ver sua nuca.

O motivo de a energia de um Universo fechado ser zero é na verdade muito simples. É mais fácil considerar o resultado analogamente ao fato de que, em um Universo fechado, a carga elétrica total também deve ser zero.

Desde os tempos de Michael Faraday, pensamos a carga elétrica como sendo a fonte de um campo elétrico (na linguagem quântica moderna, devido à emissão dos fótons virtuais que descrevi antes). Para ilustrar, vamos imaginar "linhas de campo" emitidas radialmente pela carga, com o número de linhas de campo proporcional à carga e com a direção para fora no caso de cargas positivas e para dentro no caso de cargas negativas, conforme demonstrado a seguir:



Imaginamos essas linhas de campo indo em direção ao infinito e, à medida que se espalham, vão se distanciando umas das outras. Ou seja, a força do campo elétrico fica cada vez mais fraca. No entanto, em um Universo fechado, as linhas de campo associadas a uma carga positiva, por exemplo, podem começar a se distanciar, mas, no fim, como as linhas de longitude em um mapa da Terra se juntam nos polos Norte e Sul, as linhas de campo de uma carga positiva se juntarão novamente no ponto mais distante do Universo. Quando convergirem, o campo ficará mais forte novamente, até haver energia suficiente para criar uma carga negativa que possa "comer" as linhas de campo nesse ponto antípoda do Universo.

Acontece que um argumento muito similar, nesse caso associado não ao "fluxo" de linhas de campo, mas ao "fluxo" de energia em um Universo fechado, comprova que a energia positiva total, incluindo a associada às massas de repouso das partículas, deve ser compensada com exatidão pela energia gravitacional negativa, para que a energia total seja exatamente zero.

Portanto, se a energia total de um Universo fechado é zero e o formalismo da soma sobre os caminhos da gravitação quântica é apropriado, então, para a mecânica quântica, esses Universos poderiam aparecer de forma espontânea e impune, sem carregar qualquer energia de rede. Esses Universos seriam espaços-tempos totalmente autocontidos, sem conexão com o nosso.

Há um problema, no entanto. Um Universo fechado em expansão cheio de matéria em geral se expandirá para um tamanho máximo, em seguida entrará em colapso na mesma velocidade, culminando em uma singularidade do espaço-tempo em que a terra de ninguém da gravitação quântica atualmente não poderá determinar seu destino derradeiro. A vida útil característica de

Universos fechados pequenos será, então, microscópica, talvez da ordem do "tempo de Planck", a escala característica na qual processos gravitacionais quânticos deveriam operar por cerca de 10^{-44} segundos.

Contudo, existe uma resolução para esse dilema. Se antes de esse Universo entrar em colapso as configurações dos campos dele produzirem um período de inflação, então mesmo um Universo inicialmente fechado e pequeno poderá se expandir de forma exponencial, ficando cada vez mais próximo de um grande Universo plano durante esse período. Depois de cem ou mais tempos de duplicação de tal inflação, o Universo estará tão próximo de ser plano que poderá facilmente durar mais tempo que o nosso tem durado sem entrar em colapso.

Existe ainda outra possibilidade; uma possibilidade que sempre me dá uma ligeira pontada de nostalgia (e inveja), porque representou uma experiência de aprendizagem importante para mim. Quando eu era pós-doutorando em Harvard, estava brincando com a mecânica quântica possível de campos gravitacionais e descobri a resolução de um bom amigo dos tempos de faculdade, Ian Affleck. Ele era canadense e tinha estudado em Harvard enquanto eu estava no MIT. Entrara para a Society of Fellows alguns anos antes de mim e trabalhara com a teoria matemática de Feynman usada hoje a fim de lidar com partículas e campos elementares — a chamada teoria quântica de campos — a fim de calcular como partículas e antipartículas poderiam ser produzidas em um campo magnético forte.

Percebi que a forma da solução que Ian havia descrito, algo chamado de "instanton", lembrava muito, caso se assumisse seu formalismo para o caso da gravitação, um Universo em inflação. Mas parecia um Universo em inflação que surgiu do nada! Antes de escrever esse resultado, quis lidar com minha confusão a respeito de como interpretar a que explicação física tal solução matemática poderia corresponder. Logo descobri, no entanto, que, enquanto eu fazia elucubrações, Alex Vilenkin, cosmólogo criativo e meu amigo, tinha acabado de escrever um artigo que descrevia como a gravitação quântica de fato poderia criar um Universo em inflação diretamente do nada. Tinham me ultrapassado, mas eu não podia ficar muito chateado porque (a) naquela época, eu não compreendia em detalhes o que estava fazendo e (b) Alex teve coragem de propor algo que eu não tive. Desde então aprendi que não é

preciso entender todas as implicações de seu trabalho para publicá-lo. De fato, vários de meus trabalhos mais importantes só compreendi completamente muito depois de publicá-los.

De qualquer forma, enquanto Stephen Hawking e seu colaborador Jim Hartle propunham um esquema muito diferente para tentar determinar as "condições limitantes" de Universos que podem surgir do nada, os fatos que mereceram destaque foram:

> (1) Na gravitação quântica, os Universos podem — e de fato o farão — aparecer espontaneamente do nada. Tais Universos não precisam ser vazios, mas podem ter matéria e radiação em seu interior, contanto que a energia total, incluindo a energia negativa associada à gravitação, seja zero.
>
> (2) Para que os Universos fechados que podem ser criados por tais mecanismos durem por mais que tempos microscópicos, algo como a inflação é necessário. Como resultado, o único Universo de vida longa em que se pode esperar viver em tal cenário é um que hoje pareça plano, como o Universo em que vivemos.

A lição é clara: a gravitação quântica não apenas parece permitir que Universos surjam do nada — o que significa (nesse caso, enfatizo) a ausência de espaço e tempo —, mas pode exigir que o façam. O "nada" — nesse caso nada de espaço, nada de tempo, nada qualquer coisa! — *é* instável.

Além do mais, seria esperado que as características gerais de um Universo desse tipo, se ele durar muito tempo, fossem as que observamos no Universo hoje.

Isso prova que o Universo surgiu do nada? Claro que não. Mas é um passo consideravelmente grande em direção à plausibilidade dessa questão. E remove mais uma das objeções que podem ser levantadas contra o argumento da criação a partir do nada como descrito no capítulo anterior.

Lá, "nada" significava espaço vazio, mas preexistente, combinado com leis da física fixas e bem conhecidas. Agora, o requisito do espaço foi removido.

Mas, o que é impressionante, como devemos discutir no próximo capítulo, mesmo as leis da física podem não ser necessárias, ou obrigatórias.

11

Admiráveis mundos novos

Foi o melhor dos tempos. Foi o pior dos tempos.

Charles Dickens

O problema central com a noção da criação é que ela parece exigir que algo externo, algo fora do próprio sistema, *preexista*, a fim de se criarem as condições necessárias para que o sistema venha a existir. Aqui é geralmente onde a noção de Deus — um agente externo, que existe separadamente do espaço, do tempo e da própria realidade física — entra, porque uma hora é preciso pôr um ponto final nas coisas. Mas, nesse sentido, *Deus* parece, para mim, uma solução semântica bem fácil para a profunda questão da criação. Acho que isso se explica melhor em um contexto ligeiramente diferente: a origem da moralidade, que aprendi com meu amigo Steven Pinker.

A moralidade é externa e absoluta ou é derivada somente do contexto de nossa biologia e nosso ambiente, podendo assim ser determinada pela ciência? Durante um debate sobre o assunto, organizado na Universidade do Arizona, Pinker apontou o seguinte enigma.

Se argumentamos, como muitos religiosos o fazem, que sem Deus não há como haver certo e errado — ou seja, que Deus determina o que é certo e o que é errado —, pode-se propor a pergunta: e se Deus decretasse que o estupro e o assassinato fossem moralmente aceitáveis? Isso os tornaria aceitáveis?

Embora alguns pudessem responder que sim, acredito que a maioria dos crentes diria que não, pois Deus não decretaria isso. Mas por que não? Talvez

porque Deus teria algum motivo para não decretar isso. De novo, talvez porque a razão sugere que o estupro e o assassinato não são moralmente aceitáveis. Mas se Deus teria de recorrer à razão, então por que não eliminar logo o intermediário?

Podemos aplicar um raciocínio parecido à criação do Universo. Todos os exemplos dados de fato envolvem a criação de algo a partir do que se é tentado a considerar como nada, mas as *regras* para essa criação, ou seja, as leis da física, foram pre-determinadas. De onde elas vêm?

Existem duas possibilidades. Ou Deus, ou algum ser divino que não está limitado por regras, que vive fora delas, as determina — por capricho ou com malícia premeditada —, ou elas surgem por algum mecanismo menos sobrenatural.

O problema de Deus determinar as regras é que se pode pelo menos perguntar o que, ou quem, determinou as leis de Deus. Tradicionalmente, a resposta a essa pergunta é dizer que Deus é, entre os outros muitos atributos espetaculares do Criador, a *causa de todas as causas*, na língua da Igreja Católica Romana, ou a *Primeira Causa*, conforme Aquino, ou, na linguagem de Aristóteles, o *primeiro motor*.

O interessante é que Aristóteles reconhecia o problema de uma primeira causa e decidiu que, por esse motivo, o Universo deve ser eterno. Além disso, o próprio Deus, identificado por ele como pensamento puro autocentrado, cujo amor motivava o primeiro motor a mover, tinha de ser eterno, não causando o movimento ao criá-lo, mas ao estabelecer seu propósito final, que Aristóteles considerou que tinha de ser eterno.

Aristóteles achava que igualar a Primeira Causa a Deus não era satisfatório; na verdade, achava que a noção platônica de Primeira Causa era falha, pois toda causa precisava ter um precursor — daí a exigência de que o Universo fosse eterno. Como alternativa, caso se tome a visão de Deus como causa de todas as causas, e, assim, eterno, mesmo que o Universo não o seja, a sequência de questões do tipo "por que" *reductio ad absurdum* de fato termina, mas, como enfatizei, apenas à custa de introduzir uma entidade notável todo-poderosa para a qual simplesmente não há qualquer outra evidência.

A esse respeito, há outro ponto importante para salientar aqui. A necessidade lógica aparente de uma Primeira Causa é uma questão real para

qualquer Universo que tem um início. Então, baseando-se apenas na lógica, não se pode descartar essa visão deísta da natureza, mas, mesmo nesse caso, é vital compreender que a divindade não tem qualquer conexão lógica com as divindades pessoais das grandes religiões do mundo, apesar de ser usada com frequência para justificá-las. Um deísta forçado a buscar alguma inteligência primordial para estabelecer ordem na natureza não será levado, em geral, ao deus pessoal das Escrituras pela mesma lógica.

Essas questões foram debatidas e discutidas por milênios, por mentes brilhantes e não tão brilhantes, e muitas delas ganharam a vida com esses debates. Podemos retomá-las porque estamos simplesmente mais bem-informados por nosso conhecimento da natureza da realidade física. Nem Aristóteles nem Aquino sabiam da existência de nossa galáxia, muito menos do Big Bang, ou da mecânica quântica. Assim, os problemas contra os quais eles e os filósofos medievais mais tarde lutaram devem ser interpretados e entendidos à luz do novo conhecimento.

Considere, com base na moderna cosmologia, por exemplo, a sugestão de Aristóteles de que não há Primeira Causa ou, melhor, de que as causas na verdade voltam (e avançam) infinitamente em todas as direções. Não há início, não há criação, não há fim.

Quando descrevi como algo deve quase sempre surgir do "nada", foquei tanto na criação de algo a partir do espaço vazio preexistente quanto na criação do espaço vazio a partir de nenhum espaço de todo. Ambas as condições iniciais funcionam quando penso na "ausência do ser", e assim são candidatas possíveis para o nada. Não abordei diretamente, no entanto, as questões sobre o que pode ter existido antes de tal criação, se é que algo existiu, que leis governaram a criação ou, mais genericamente, o que alguns podem ver como a questão da Primeira Causa. Uma resposta simples é claramente que ou o espaço vazio ou o nada mais fundamental do qual o espaço vazio pode ter surgido preexistia e é eterno. No entanto, para ser justo, isso nos leva à pergunta possível, que, é claro, pode não ser respondível, quanto a "o que" fixou as regras que governaram tal criação, se é que existiram regras.

Uma coisa é certa, porém. A "regra" metafísica, mantida como uma convicção encouraçada por aqueles com quem discuti a questão da criação, ou

seja, que "do nada não sai nada", não tem fundamentação na ciência. Argumentar que ela é autoevidente, inabalável e inatacável é como argumentar falsamente, como Darwin fez ao sugerir que a origem da vida estava além do domínio da ciência, construindo uma analogia com a afirmação incorreta de que a matéria não pode ser criada ou destruída. Tudo o que a teoria representa é uma relutância em reconhecer que a natureza pode ser mais esperta que filósofos ou teólogos.

Além disso, os que argumentam que do nada nada sai parecem perfeitamente contentes com a noção quixotesca de que, de alguma forma, Deus pode contornar essa regra. Porém, mais uma vez, se exigimos que a noção do nada verdadeiro não requer nem mesmo o *potencial* para a existência, então certamente Deus não pode realizar seus milagres, pois, se faz a existência surgir da não existência, deve ter havido o potencial para a existência. Argumentar simplesmente que Deus pode fazer o que a natureza não pode é dizer que o potencial *sobrenatural* para a existência é, de alguma forma, diferente do potencial natural normal para a existência. Mas essa parece uma distinção semântica arbitrária pensada por aqueles que decidiram *a priori* (como é esperado que teólogos façam) que o sobrenatural (ou seja, Deus) deve existir, definindo, então, suas ideias filosóficas (mais uma vez, completamente longe de qualquer base empírica) para excluir qualquer coisa que não seja a possibilidade de um Deus.

De qualquer forma, para propor um deus que possa resolver esse dilema, como enfatizei inúmeras vezes, geralmente é necessário que Deus exista fora do Universo e seja atemporal ou eterno.

Nossa compreensão moderna fornece outra solução mais plausível e, para mim, no entanto, muito mais física para esse problema, cujas características são as mesmas de um criador externo — além de ser logicamente mais consistente.

Refiro-me ao multiverso. A possibilidade de o Universo ser apenas um de um grande conjunto, possivelmente infinito, de Universos distintos separados, sendo que quaisquer quantidades de aspectos fundamentais de realidades físicas podem ser diferentes, abre uma nova compreensão de nossa existência.

Como mencionei, uma das implicações mais desagradáveis, porém potencialmente verdadeiras dessas imagens, é que a física, em algum nível

fundamental, é meramente uma ciência ambiental. (Considero isso desagradável porque fui criado com a ideia de que o objetivo da ciência é explicar por que o Universo teve que ser do jeito que é e como isso se deu. Se, em vez disso, as leis da física como as conhecemos são simplesmente acidentes correlacionados à nossa existência, então esse objetivo fundamental foi malcolocado. No entanto, superarei meu preconceito se a ideia se revelar verdadeira.) Nesse caso, as forças e as constantes fundamentais da natureza não são mais fundamentais que a distância entre a Terra e o Sol. Vivemos na Terra, e não em Marte, não porque existe algo de profundo e fundamental a respeito da distância entre a Terra e o Sol, mas simplesmente porque, se a Terra estivesse localizada a uma distância diferente, a vida como a conhecemos não poderia ter se desenvolvido.

Esses argumentos antrópicos são muito escorregadios, e é quase impossível fazer previsões específicas baseando-se neles sem saber explicitamente a distribuição de probabilidade entre todos os Universos possíveis das várias constantes e forças fundamentais — ou seja, quais podem ou não podem variar e quais formas e valores possíveis elas podem assumir — e quanto exatamente somos "típicos" no Universo. Se não somos formas de vida "típicas", então a seleção antrópica, se é que ela ocorre, pode se basear em fatores diferentes daqueles aos quais a atribuiríamos.

Ainda assim, um multiverso — seja na forma de um panorama de Universos que existe em uma série de dimensões extras, seja na forma de um conjunto de Universos reproduzíveis possivelmente infinitos em um espaço tridimensional, como no caso de uma inflação eterna — muda o jogo quando se pensa sobre a criação do próprio Universo e as condições para que ela aconteça.

Em primeiro lugar, a questão do que determinou as leis da natureza que permitiram que o Universo se formasse e desenvolvesse agora se torna menos significativa. Se as leis da natureza são elas mesmas estocásticas e aleatórias, então não há "causa" prescrita para sua formação. Sob o princípio geral de que tudo o que não é proibido é permitido, então nos seria garantido, nessa situação, que algum Universo surgiria com as leis que descobrimos. Não se exige que mecanismos e entidades fixem as leis da natureza. Elas poderiam ser quase qualquer coisa. Como ainda não temos uma teoria fundamental que

explique as características detalhadas do panorama de um multiverso, não podemos dizer. (Mas, sejamos justos, para fazer qualquer progresso científico no cálculo das possibilidades, geralmente supomos que certas propriedades, como a mecânica quântica, permeiam todas elas. Não sei se essa noção pode ser útil, ou pelo menos não conheço nenhum trabalho produtivo nesse sentido.)

De fato, pode ser que não haja nenhuma teoria fundamental. Embora eu tenha me tornado físico porque esperava que tal teoria existisse, e porque esperava que um dia poderia ajudar a contribuir para sua descoberta, como já lamentei, essa esperança pode estar fora de cogitação. Encontro consolo na afirmação de Richard Feynman, que precede a citação que inicia o epílogo deste livro e de que fiz um resumo breve anteriormente, mas quero apresentar na íntegra aqui:

> As pessoas me perguntam: "Você está procurando pelas leis definitivas da física?" Não, não estou. Estou apenas tentando descobrir mais sobre o mundo, e se existir uma lei definitiva simples que explica tudo, então que seja. Seria muito bom descobrir isso. Se acontecer de ser como uma cebola com milhões de camadas, e estivermos cansados de olhar para camadas, então é assim que a coisa é... Meu interesse na ciência é simplesmente descobrir mais sobre o mundo, e, quanto mais descubro, melhor fica. Gosto de descobrir.

A discussão pode ser prolongada e tomar diferentes direções, o que também tem implicações para os argumentos centrais deste livro. Em um multiverso de qualquer tipo, poderia haver um número infinito de regiões, potencial e infinitamente grandes ou infinitesimalmente pequenas, nas quais não existe "nada", assim como poderia haver regiões em que há "algo". Nesse caso, a resposta quanto ao porquê de existir algo em vez de nada se torna quase banal: existe algo apenas porque, se não existisse nada, não nos encontraríamos vivendo aqui!

Reconheço a frustração inerente frente a essa resposta banal ao que pareceu ser uma questão tão profunda e discutida ao longo dos séculos. Mas a ciência sempre afirmou que qualquer coisa profunda ou trivial pode ser muito diferente do que podemos supor em um primeiro momento.

O Universo é muito mais rico e muito mais estranho — muito mais maravilhosamente estranho — do que as meras imaginações humanas podem

prever. A cosmologia moderna nos levou a considerar ideias que não poderiam nem mesmo ter sido formuladas há um século. As grandes descobertas dos séculos XX e XXI não apenas transformaram o mundo em que vivemos, mas revolucionaram nossa compreensão do mundo — ou mundos — que existe, ou pode existir, bem debaixo de nosso nariz — a realidade que fica escondida até termos coragem suficiente para procurar por ela. É por isso que a filosofia e a teologia são, em última análise, incapazes de abordar, sozinhas, as questões fundamentais sobre nossa existência. Até abrirmos nossos olhos e deixarmos a natureza tomar o comando, estamos destinados a chafurdar em miopia.

Por que existe algo em vez de nada? Em última análise, essa pergunta pode não ser mais tão significativa e profunda que perguntar por que algumas flores são vermelhas e outras são azuis. "Algo" sempre pode surgir do nada. Pode ser que isso seja exigido, independentemente da natureza subjacente da realidade. Ou talvez "algo" pode não ser muito especial, ou até mesmo muito comum no multiverso. De qualquer forma, o melhor é não ponderar sobre essa questão, mas, em vez disso, participar da viagem emocionante da descoberta que pode revelar como o Universo se desenvolveu e está se desenvolvendo, e os processos que, em última análise, governam operacionalmente nossa existência. É para isso que existe a ciência. Podemos complementar essa compreensão com a reflexão, e chamar isso de filosofia. Mas somente continuando a investigar cada canto e fenda do Universo que nos é acessível construiremos de verdade uma apreciação útil de nosso próprio lugar no cosmos.

Antes de concluir, quero levantar mais um aspecto dessa questão, com que vale a pena fechar o assunto. Implícita na questão do por que há algo em vez de nada está a expectativa solipsista de que "algo" persistirá — de que o Universo "progrediu" a ponto de nossa existência, como se fôssemos o ápice da criação. Muito mais provável, baseado em tudo o que sabemos sobre o Universo, é a possibilidade de que o futuro, talvez o futuro infinito, é um futuro no qual o nada reinará mais uma vez.

Se vivemos em um Universo cuja energia é dominada pela energia do nada, o futuro é realmente ermo. Os céus se tornarão frios, escuros e vazios. Mas a situação é pior. Um Universo dominado pela energia do espaço vazio é o pior de todos para a vida futura. É garantido que qualquer civilização desapareça em algum momento em tal Universo, carente de energia para sobreviver. Após um tempo inimaginavelmente longo, uma flutuação quântica, ou uma agitação térmica, pode produzir uma região local onde mais uma vez a vida poderá se desenvolver e prosperar. Mas essa vida também será efêmera. O futuro será dominado por um Universo com nada nele para apreciar seu vasto mistério.

Como alternativa, se a matéria que nos constitui foi criada no início dos tempos por processos quânticos, é garantido que ela, também, desaparecerá mais uma vez. A física é uma via de mão dupla, e inícios e fins estão ligados. Muito além no futuro, prótons e nêutrons entrarão em declínio, a matéria desaparecerá, e o Universo se aproximará de um estado de simplicidade e simetria máximas.

Matematicamente belo, talvez, mas desprovido de substância. Como Heráclito de Éfeso escreveu em um contexto ligeiramente diferente: "Homero estava errado ao dizer: 'Que pereça aquela contenda entre deuses e homens!' Ele não percebeu que estava rezando pela destruição do Universo; pois, se sua prece fosse ouvida, todas as coisas se extinguiriam." Ou como Christopher Hitchens reafirmou: "O nirvana *é* o nada."

Uma versão mais extrema desse consequente refúgio no nada pode ser inevitável. Alguns teóricos das cordas argumentaram, com base na matemática complexa, que um Universo como o nosso, com uma energia positiva no espaço vazio, *não pode* ser estável. Em algum momento, deve decair a um estado no qual a energia associada ao espaço será negativa. O Universo, então, entrará em colapso para dentro, retornando à névoa quântica a partir da qual nossa própria existência pode ter surgido. Se esses argumentos estão corretos, o Universo desaparecerá de forma tão ab-rupta quanto provavelmente começou.

Nesse caso, a resposta à pergunta "Por que há algo em vez de nada?" será simplesmente: "Não haverá algo por muito tempo."

Epílogo

A sanção de um fato vivido como uma face da verdade é um assunto profundo, e é o motor que colocou em movimento nossa civilização desde o Renascimento.

Jacob Bronowski

O INÍCIO DESTE LIVRO CONTINHA outra citação de Jacob Bronowski:

> Sonho ou pesadelo, temos de viver nossa experiência como ela é, e temos de vivê-la acordados. Vivemos em um mundo que é penetrado de fora a fora pela ciência e que é tanto inteiro quanto real. Não podemos transformá-lo em um jogo simplesmente escolhendo lados.

Como também argumentei, o sonho de um é o pesadelo de outro. Um Universo sem propósito ou orientação pode parecer, para alguns, fazer da própria vida algo insignificante. Para outros, como eu, um Universo desse tipo é revigorante. Isso faz com que nossa existência seja ainda mais impressionante, nos motivando a atribuir um sentido a nossas próprias ações e a tirar o máximo de nossa existência breve ao Sol, simplesmente porque estamos aqui, abençoados com a consciência e com a oportunidade de fazê-lo. O argumento de Bronowski, no entanto, é que na verdade não importa, e que o que gostaríamos que o Universo fosse é irrelevante. O que aconteceu aconteceu, e aconteceu em escala cósmica. E o que quer que esteja prestes a acontecer nessa escala acontecerá independentemente de nossos gostos e desgostos. Não somos capazes de afetar o primeiro e é improvável que sejamos capazes de afetar o segundo.

O que podemos fazer, no entanto, é tentar entender as circunstâncias de nossa existência. Descrevi neste livro uma das jornadas mais marcantes de

exploração que a humanidade já empreendeu em sua história evolucionária. Uma investigação épica para explorar e entender o cosmos em escalas simplesmente desconhecidas há um século. A jornada desafiou os limites do espírito humano, combinando a disposição em seguir evidências aonde quer que elas possam levar com a coragem de dedicar uma vida inteira a explorar o desconhecido com o conhecimento pleno de que o esforço poderia dar em lugar nenhum e, finalmente, exigindo uma mistura de criatividade e persistência para realizar as tarefas frequentemente tediosas de triar equações infinitas ou desafios experimentais infinitos.

Sempre fui atraído pelo mito de Sísifo, e algumas vezes já comparei o esforço científico à sua tarefa eterna de empurrar uma pedra montanha acima, só para que ela caia antes de alcançar o topo. Como Camus imaginou, Sísifo estava sorrindo, e nós também deveríamos estar. Nossa jornada, qualquer que seja o resultado, oferece sua recompensa.

O progresso fenomenal que fizemos no último século nos trouxe ao ápice, como cientistas, na abordagem operacional às questões mais profundas desde que os humanos deram seus primeiros passos quanto à compreensão de quem eram e de onde tinham vindo.

Como descrevi, no processo, o próprio significado dessas questões evoluiu junto com nossa compreensão do Universo. A pergunta "Por que existe algo em vez de nada?" deve ser entendida no contexto de um cosmos em que o significado dessas palavras não é o que já foi um dia, e a própria distinção entre algo e nada começou a desaparecer, pois transições entre as duas coisas em contextos diferentes não são apenas comuns, mas exigidas.

Assim, a própria questão foi marginalizada conforme avançamos em nossa busca por conhecimento. Em seu lugar, somos levados a entender os processos que governam a natureza de um modo que nos permita fazer previsões e, sempre que possível, afetar nosso próprio futuro. Desse modo, descobrimos que vivemos em um Universo no qual o espaço vazio — o que antes poderia ter sido o nada — tem uma nova dinâmica que domina a evolução atual do cosmos. Descobrimos que todos os sinais sugerem um Universo que poderia ter surgido e plausivelmente surgiu de um nada mais profundo — envolvendo a ausência do próprio espaço — e que pode um dia voltar a ele, por meio de processos que não só podem ser compreendidos, como também podem não

exigir qualquer controle externo ou direção. Nesse sentido, a ciência, como o físico Steven Weinberg enfatizou, não torna impossível a crença em Deus, mas possibilita não acreditar nele. Sem a ciência, tudo é um milagre. Com a ciência, existe a possibilidade de que nada seja. A crença religiosa, nesse caso, se torna cada vez menos necessária e cada vez menos relevante.

A escolha de voltar à noção da criação divina recai em cada um de nós, é claro, e eu espero que o debate não morra. Mas acredito que, se formos intelectualmente honestos em nossa escolha, devemos fazê-la bem-informados, balizados pelo fato, não pela revelação.

Esse foi o objetivo deste livro: fornecer uma imagem bem-informada do Universo como o entendemos e descrever as especulações teóricas que atualmente levam a física adiante conforme nós, cientistas, tentamos separar o joio do trigo por meio de observações e teorias.

Deixei clara minha preferência: o caso de *nosso* Universo ter surgido do nada parece ser, de longe, a alternativa intelectual mais convincente no presente momento. Você chegará à sua própria conclusão.

Quero terminar a discussão retornando a uma questão que, a meu ver, acho mais intelectualmente fascinante que a questão do algo a partir do nada. É a pergunta que Einstein fez sobre se Deus teve alguma escolha na criação do Universo. Essa pergunta fornece a motivação básica para quase toda a pesquisa quanto à estrutura fundamental da matéria, do espaço e do tempo — e a pesquisa que ocupou grande parte de minha vida profissional.

Eu costumava pensar que havia uma escolha inflexível na resposta a essa pergunta, mas, ao escrever este livro, meu ponto de vista mudou. Claramente, se existe uma única teoria envolvendo um único conjunto de leis que descreve e, de fato, prescreve como o Universo veio a existir e as regras que têm governado sua evolução desde então — o objetivo da física desde Newton ou Galileu —, a resposta pareceria ser: "Não, as coisas tinham de ser do jeito que foram, e são."

Mas se o Universo não é único, e faz parte de um multiverso vasto e possivelmente infinito, a resposta para a pergunta de Einstein seria um sonoro: "Sim, existe uma série de escolhas para a existência."

Mas não tenho tanta certeza. Pode ser que exista um conjunto infinito de combinações diferentes de leis e variedades de partículas e substâncias e forças

e até mesmo Universos distintos que podem surgir em tal multiverso. Ou pode ser que apenas uma combinação muito restrita, que resulta no Universo do tipo em que vivemos ou em um muito parecido, seja capaz de suportar a evolução dos seres que podem fazer uma pergunta como essa. Então a resposta a Einstein continuará sendo negativa. Um Deus ou uma Natureza que pudesse compreender um multiverso seria tão limitado na criação de um Universo no qual Einstein poderia fazer essa pergunta quanto qualquer um deles seria, caso haja apenas a escolha de uma realidade física consistente.

Acho estranhamente satisfatória a possibilidade de que, em quaisquer cenários, mesmo um Deus que aparente onipotência não teria qualquer liberdade na criação do Universo. Sem dúvida porque sugere ainda que Deus é desnecessário — ou, no máximo, redundante.

Posfácio

por Richard Dawkins

Nada expande a mente como o Universo em expansão. A música das esferas é como uma canção de ninar, um *jingle* a ser comparado com os acordes majestosos da Symphonie Galactica. Mudando a metáfora e a dimensão, as poeiras dos séculos, as brumas daquilo que ousamos chamar história "antiga", são logo levadas pelos ventos firmes e erodentes das eras geológicas. Até mesmo a idade do Universo, precisa — assim nos assegura Lawrence Krauss — até o quarto algarismo significativo em 13,72 bilhões de anos, é ofuscada pelos zilhares de anos que estão por vir.

Mas a visão de Krauss da cosmologia do futuro remoto é paradoxal e assustadora. O progresso científico provavelmente entrará em reverso. Pensamos que, se existirem cosmólogos no ano 2 trilhões d.C., sua visão do Universo se ampliará sobre a nossa. Não exatamente — e essa é uma das muitas conclusões devastadoras a que chego ao fechar este livro. Alguns bilhões de anos a mais ou a menos, o nosso é um tempo propício para ser um cosmólogo. Daqui a 2 trilhões de anos, o Universo terá se expandido tanto que todas as galáxias, exceto a dos cosmólogos (quaisquer que sejam), terão recuado a um horizonte einsteiniano tão absoluto, tão inviolável, que não serão apenas invisíveis, mas estarão além de qualquer possibilidade de deixar rastros, por mais indiretos que sejam. Será como se nunca tivessem existido. Qualquer vestígio do Big Bang terá, muito provavelmente, sumido, para sempre e além de qualquer recuperação. Os cosmólogos do futuro serão cortados de seu passado, e de sua situação, de uma forma que nós não somos.

Sabemos que estamos situados em meio a 100 bilhões de galáxias, e sabemos sobre o Big Bang porque as evidências estão ao nosso redor: a radiação do desvio para o vermelho de galáxias distantes comprovou a teoria

da expansão de Hubble e nós a extrapolamos negligentemente. Somos privilegiados por ver as evidências porque olhamos para fora em um Universo infantil, aquecendo-nos na aurora dos tempos em que a luz ainda pode viajar de galáxia em galáxia. Conforme Krauss e um colega disseram espirituosamente: "Vivemos em um tempo muito especial... o único tempo em que se pode verificar por meio de observações que vivemos em um tempo muito especial!" Os cosmólogos desse futuro imensamente distante serão forçados de volta à visão atrofiada do início do século XX, trancados como nós estávamos em uma única galáxia que, por tudo o que sabíamos ou podíamos imaginar, era sinônimo do Universo.

Finalmente, e inevitavelmente, o Universo plano ficará ainda mais plano, tornando-se um nada que espelha seu início. Não só não haverá cosmólogos para olhar para o Universo, como não haverá nada para ver, mesmo que pudessem. Nada mesmo. Nem mesmo átomos. Nada.

Se você acha isso sombrio e triste, sinto muito. A realidade não nos conforta. Quando Margaret Fuller escreveu, com o que imagino que tenha sido um suspiro de satisfação, "Aceito o Universo", a resposta de Thomas Carlyle foi certeira: "É bom mesmo!" Particularmente, acho que a extinção eterna de um nada infinitamente plano tem uma grandeza que, no mínimo, vale a pena enfrentar com coragem.

Mas, se algo pode ser achatado até virar nada, então o nada pode entrar em ação e dar origem a alguma coisa? Por que, citando uma antiga questão teológica, existe algo em vez de nada? Aqui chegamos àquela que talvez seja a lição mais impressionante para fechar o livro de Lawrence Krauss: a física não só nos diz como algo poderia surgir do nada, como vai além, segundo Krauss, e nos mostra que o nada é instável — algo estava quase obrigado a surgir dele. Se eu entendi Krauss corretamente, isso acontece o tempo todo: o princípio soa como uma versão física para "dois erros fazem um acerto". Partículas e antipartículas surgem e desaparecem como vaga-lumes subatômicos, aniquilando uns aos outros, e então recriando-se em um processo inverso, do nada.

A gênese espontânea de algo a partir do nada aconteceu em grande estilo no início do espaço e do tempo, na singularidade conhecida como Big Bang, seguida pelo período inflacionário, quando o Universo, e tudo o que existe

nele, cresceu em uma fração de segundo através de 28 ordens de grandeza (isso corresponde a um 1 com 28 zeros atrás dele — pense!).

Que ideia bizarra e ridícula! Sério, esses cientistas... São tão ruins quanto escolásticos medievais contando anjos na cabeça de alfinetes, ou debatendo o "mistério" da transubstanciação.

Não, não é bem isso, não com tanta violência e exagero. A ciência ainda desconhece muita coisa (e está trabalhando nisso com todo o afinco). Entretanto, parte do que sabemos sabemos não apenas aproximadamente (o Universo não tem simplesmente milhares, mas bilhares de anos), mas com convicção e precisão espantosa. Já mencionei que a idade do Universo é medida em quatro algarismos significativos. Isso já é bem impressionante, mas não é nada comparado à precisão de algumas das previsões com as quais Lawrence Krauss e seus colegas nos surpreendem. O herói de Krauss, Richard Feynman, apontou que algumas das previsões da teoria quântica — novamente baseadas em premissas que parecem mais bizarras que qualquer coisa já sonhada mesmo pelo mais obscurantista dos teólogos — foram verificadas com tamanha precisão que correspondem a prever a distância entre Nova York e Los Angeles com o comprimento de um fio de cabelo.

Teólogos podem especular sobre anjos em cabeça de alfinetes, ou o que quer que seja o equivalente atual. Os físicos podem parecer ter seus próprios anjos e suas próprias cabeças de alfinete: quanta e quarks, "charm", "estranheza" e "spin". Mas os físicos podem contar seus anjos e podem chegar ao anjo mais próximo em um total de 10 bilhões: nem um a mais, nem um a menos. A ciência pode ser estranha e incompreensível — mais estranha e menos incompreensível que qualquer teologia —, mas a ciência funciona, consegue resultados. Pode levar você a Saturno, passando por Vênus e Júpiter. Podemos não entender a teoria quântica (eu com certeza não entendo), mas uma teoria que prevê o mundo real em dez casas decimais não pode, em qualquer sentido, estar errada. A teologia não só carece de casas decimais, como falta-lhe até mesmo o menor indício de conexão com o mundo real. Como disse Thomas Jefferson, ao fundar a Universidade de Virgínia: "Um professorado de teologia não deveria ter lugar em nossa instituição."

Se você perguntar aos crentes o porquê de sua crença, pode ser que encontre alguns teólogos "sofisticados" que falarão de Deus como a "base de

toda a existência", ou como "metáfora da comunhão interpessoal", ou alguma evasão do tipo. Mas a maioria, mais honesta e vulnerável, pula para uma versão do argumento da criação ou da primeira causa. Filósofos do calibre de David Hume não precisavam levantar de suas cadeiras para demonstrar a fraqueza fatal desses argumentos: eles imploram pela questão da origem do criador. Mas foi preciso que Charles Darwin, no mundo real no HMS *Beagle*, descobrisse a alternativa brilhantemente simples — sem ter que implorar — à criação. No campo da biologia, é claro. A biologia sempre foi o campo de caça favorito de teólogos naturais, até que Darwin — não deliberadamente, pois era o mais gentil e bondoso dos homens — os expulsou. Eles fugiram para as pastagens rarefeitas da física e das origens do Universo, apenas para se deparar com Lawrence Krauss e seus predecessores.

As leis e as constantes da física parecem um trabalho conveniente e bem-afinado, projetadas para trazer-nos à existência? Você acha que algum agente deve ter feito com que tudo começasse? Leia Victor Stenger caso não consiga ver o que há de errado com esses argumentos. Steven Weinberg, Peter Atkins, Martin Rees, Stephen Hawking. E agora podemos ler Lawrence Krauss, o que me parece ser o nocaute. Até mesmo a última carta de trunfo do teólogo — "Por que existe algo em vez de nada?" — encolhe diante de nossos olhos conforme lemos estas páginas. Se *A origem das espécies* foi o golpe mortal da biologia contra o sobrenatural, podemos considerar *Um Universo que veio do nada* um equivalente para a cosmologia. O título significa exatamente o que diz. E o que diz é devastador.

Índice remissivo

A

aceleradores de partículas
Adams, Douglas
Affleck, Ian
aglomerado de Coma
aglomerados
  medições de
Andrômeda
Antártica
antipartículas. ver também pósitrons; partículas virtuais
  assimetria entre partículas e
  conforme exigidas pela mecânica quântica
  conforme exigidas pela teoria da Relatividade Geral
  criação em campo elétrico
  na equação de Dirac
  parecendo voltar no tempo
argumentos antrópicos
Aristóteles
arrancada
Atkins, Peter

B

bárions
Big Bang
Big Crunch
biologia
Bogan, Louise
Bohr, Niels
BOOMERANG
bósons
Brahe, Tycho
branas
Bronowski, Jacob
Browning, Robert
buracos negros

C

campos elétricos
Camus, Albert
células autorreplicantes
Chaboyer, Brian
ciência
  Deus e
  propósitos da
  questão do algo a partir do nada
  três princípios básicos da
CL 0024 + 1654
constante cosmológica
  como "selecionada antropicamente"
  energia escura representada por
  introdução e arrependimento por Einstein
constante de Hubble
constantes fundamentais da natureza
conto de natal, Um (Dickens)
cosmologia
  possível fim do futuro
criador, criacionismo

D

Darwin, Charles
Dawkins, Richard
Demarque, Pierre
densidade de energia
desvio para o vermelho
  distância vs.
Deus *ver também teologia*
  algo a partir do nada criado por
  Big Bang e
  e a energia total da gravitação
  e a origem da moralidade
  navalha de Occam e
  no trabalho de Newton
  Pio XII e sua tentativa de provar a existência de
  questão da "escolha" de Einstein
  remoção de sua necessidade por Darwin
Deus das Lacunas
deutério, abundância de
Dickens, Charles
Dirac, Paul

D'Souza, Dinesh

E

eclipse solar
Eddington, Arthur Stanley
efeito Doppler
Einstein, Albert. ver também relatividade, teoria da; relatividade geral, relatividade especial
  importância dos experimentos
  lentes gravitacionais
  limite da velocidade universal descoberta por
eletromagnetismo
  teoria quântica do
elétron
  potencial para a existência de
elétrons
  como onda
  em níveis quânticos
  forma antimatéria de
  massa
  movimentando-se mais rápido que a luz
  no início do Universo
eletrostática
E = mc2
energia
  cinética
  conservação de
  definição
  de repouso
  escura *ver energia escura*
  negativa
  potencial
energia cinética
energia de vácuo falso
energia escura
  constante cosmológica como representativa de
  densidade
  descoberta
  em Universo plano
  energia do "vácuo falso"
  expansão do Universo dominada por
  na teoria das Cordas
  origem
  partículas reais e radiação criadas
  proposta de Krauss e Turner

quantidade de
energia gravitacional total
como não arbitrária
definição
equação newtoniana para
na energia total
na inflação
no Universo que veio do nada
energia potencial
energia total
como energia gravitacional total mais energia associada à massa
no Universo fechado
espaço
crescimento mais rápido que a velocidade da luz
criado pela mecânica quântica
curvatura do *ver também Universo*
espaço-tempo, mecânica quântica do
espaço vazio *ver também nada*
energia do *ver energia escura*
partículas reais criadas no
partículas virtuais e campos no
espectro
Espinosa, Baruch
estrelas
brilho
composição
sequência principal
variáveis
estrelas de nêutrons
estrelas variáveis Cefeidas
evolução biológica
experimentos mentais

F

Faraday, Michael
ferro
Feynman, Richard
formalismo da soma sobre os caminhos
necessidade de antipartículas demonstrada por
sobre a precisão da teoria quântica
sobre leis fundamentais
filosofia
físicos de partículas
Flatland (Abbot)

flocos de neve
flutuações quânticas. ver também inflação
forças fundamentais
formalismo da soma sobre os caminhos
fótons
fótons virtuais
Fundação Richard Dawkins

G

galáxias. ver também aglomerados, lei de Hubble
  desvio para o vermelho
  em espiral *ver galáxias em espiral (aglomerados em espiral)*
  instabilidade
  lentes gravitacionais
  superaglomerados
galáxias em espiral (nebulosas em espiral)
Galilei, Galileu
Gauss, Carl Friedrich
Gênesis
geometria *ver Universo fechado; Universo plano; Universo aberto*
geometria hiperbólica
Grande Colisor de Hádrons
Grande Teoria Unificada
gravitação *ver também teoria da Relatividade Geral*
gráviton
Greene, Brian
Guia do mochileiro das galáxias, O
Guth, Alan

H

Harris, Sidney
Hartle, Jim
Hawking, Stephen
Heinsenberg, Werner. Ver também Princípio da Incerteza
hélio
  abundância de
Heráclito de Éfeso
hidrogênio
  abundância de
High-Z Supernova Search Team
Hitchens, Christopher
Homero
horizonte de eventos

Hoyle, Fred
Hubble, Edwin
  expansão do Universo descoberta por
Humason, Milton
Hume, David

I

Igreja Católica Romana
infinitos
inflação caótica
instanton

J

James, William
Jefferson, Thomas
Jornada nas estrelas

K

Kepler, Johannes
  três leis do movimento planetário descobertas por
Kernan, Peter
Krauss, Lawrence

L

Lamb, Willis
Leavitt, Henrietta Swan
Leeuwenhoek, Antonie Philips van
Lei de Hubble
leis da física
leis do movimento de Newton
Lemaître, Georges
lentes gravitacionais
Linde, Andrei
linhas de absorção
linhas de campo
lítio
  abundância de
Lobachevsky, Nicolai Ivanovich
luz
  comprimentos de onda de
  habilidade humana de ver

M

Mandl, Rudi
mapas de pesquisa geodésica
massa
  de elétrons
  de fótons
  densidade no Universo
  de prótons
matéria escura
mecânica quântica. ver também Princípio da Incerteza
Mercúrio, órbita de
metabolismo
metagaláxia
Mies van der Rohe, Ludwig
milagres
miopia cósmica
moralidade
multiverso
  escolha de Deus e
múons

N

nada *ver também espaço vazio, questão do algo a partir do nada*
nebulosas *ver também galáxias em espiral (nebulosas em espiral)*
nêutrons
Newton, Isaac
  experimento do prisma
  teoria da gravitação
níveis quânticos

O

Observatório de Monte Stromlo
Observatório de Monte Wilson
Origem das espécies, A (Darwin)
oxigênio

P

Pais, Abraham
panorama
partículas elementares
partículas virtuais

periélio
Perlmutter, Saul
Physical Review
Pinker, Steven
Pio XII, Papa
Planck, Max
planetas, movimento dos
plasma
Platão
pósitrons
prêmio Nobel
pressão negativa
Princípio da Incerteza
princípio de Copérnico
Problema da Constante Cosmológica
Problema do Achatamento
Problema do Horizonte
Problema do Monopolo
prótons

Q

quarks
quasares
Quintessence (Krauss)

R

radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM)
raios cósmicos
raios X, emissão de
Rees, Martin
regressão infinita
Reiss, Adam
relação período-luminosidade
relatividade especial, teoria da
relatividade geral, teoria da *ver também constante cosmológica*
religião *ver Deus, teologia*
Retherford, Robert C.
RNA
Rubin, Vera
Rumsfeld, Donald
Russell, Bertrand

S

Sagan, Carl
Scherrer, Robert
Schmidt, Brian
Schrödinger, Erwin
Science
Scientific American
Shapley, Harlow
simetria
singularidade
Sísifo
Slipher, Vesto
Sol, espectro do
Solução de Schwarzchild
Stenger, Victor
Superaglomerado de Virgem
superaglomerados
supercondutividade
supercordas
superfície de última difusão
  escala característica
  geometria do Universo revelada por
  tentativa do BOOMERANG de fotografar
supernova
  observada por Brahe
  tipo 1a
Supernova Cosmology Project
supernova tipo 1a
supersimetria

T

tau
Telescópio Espacial Hubble
teologia. ver também Deus
teoria das Cordas
teoria das partículas
Teoria de Tudo
Tomás de Aquino
transições de fase
triâgulo, soma dos ângulos do
Turner, Michael
Tyson, Tony

U

Universo
  como eterno
  como possivelmente infinito
  densidade média
  homogeneidade do
  idade do
  massa total no
  origens do *ver também Big Bang*
  resfriamento do
Universo aberto
Universo, expansão do *ver também lei de Hubble*
  como inobservável num futuro distante
  gravidade
  taxa de
Universo fechado
  pontos quentes e frios
Universo plano
  como esperado de um Universo surgido a partir do nada
  evidências a favor
  evidências contra
  pontos quentes e frios
  taxa de expansão

V

vácuo quântico
velocidade da luz como limite da velocidade cósmica
Via Láctea
vida, origem da
Vilenkin, Alex

W

Weinberg, Steven
Wilczek, Frank
Wilkinson, David
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)
Witten, Edward
workshop Origem da Vida

Z

Zel'dovich, Yakov
Zwicky, Fritz

Este e-book foi desenvolvido em formato ePub pela Distribuidora Record de Serviços de Imprensa S.A.

Um universo que veio do nada

Skoob do livro
https://www.skoob.com.br/livro/356686ED400725

Wikipédia do autor
https://pt.wikipedia.org/wiki/Lawrence_Krauss

Site do autor
http://krauss.faculty.asu.edu/

Facebook do autor
https://www.facebook.com/Lawrence-M-Krauss-54809333509/

Twitter do autor
https://twitter.com/lkrauss1

Palestra do autor sobre o livro
https://www.youtube.com/watch?v=sbsGYRArH_w

Goodreads do autor
http://www.goodreads.com/author/show/1410.Lawrence_M_Krauss